В.Ф.САМОЙЛОВ, Б.П.ХРОМОЙ



ОСНОВЫ ЦВЕТНОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ

МАССОВАЯ
РАДИО-
БИБЛИОТЕКА

Основана в 1947 году

Выпуск 1047

В. Ф. САМОЙЛОВ, Б. П. ХРОМОЙ

ОСНОВЫ ЦВЕТНОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ

МОСКВА «РАДИО И СВЯЗЬ» 1982

ББК 76.32
С17
УДК 621.397—2

Самойлов В. Ф., Хромой Б. П.

С17 Основы цветного телевидения. — М.: Радио и связь, 1982. (Массовая радиобиблиотека; Вып. 1047) — 160 с., ил.

1 р. 10 к.

Излагаются принципы построения современных систем вещательного цветного телевидения. Приводятся основы колориметрии, необходимые для уяснения методов получения многоцветного телевизионного изображения. Рассматриваются схемы и устройства, используемые для передачи и приема сигналов цветного телевидения.

Для широкого круга читателей, знакомых с основами техники черно-белого телевидения.

С $\frac{2402020000\text{-}146}{046(01)\text{-}82}$ 194-82

ББК 76.32
6Ф3

РЕЦЕНЗЕНТ Д. П. БРИЛЛИАНТОВ

ПРЕДИСЛОВИЕ

Отечественное цветное телевидение достигло больших успехов. В связи с этим все большее число радиолюбителей и инженеров проявляют значительный интерес к технике цветного телевидения, интересуются физическими и психофизиологическими принципами, положенными в основу устройств цветного телевидения.

Цель данной книги — познакомить читателей с основами техники цветного телевидения, с принципами, используемыми при разработке передающей и приемной аппаратуры, с работой ее отдельных узлов, с особенностями сигнала цветного телевидения и его спектрального состава.

Эта книга ни в коей мере не является пособием по ремонту и эксплуатации аппаратуры цветного телевидения, в том числе и цветных телевизоров. В содержание этой книги не входит рассмотрение также схем и узлов конкретных типов телевизоров. Однако, прочитав книгу, читатели, как надеются авторы, приобретут знания по основам цветного телевидения. Эти знания помогут им свободнее ориентироваться в схемных решениях конкретной аппаратуры, сознательно осуществлять ее настройку, регулировку и ремонт.

Материал книги рассчитан на читателей, знакомых с основами техники черно-белого телевидения. Читателям, не знакомым с черно-белым телевидением, авторы рекомендуют литературу, приведенную в конце книги.

Авторы будут благодарны читателям, приславшим свои пожелания и критические замечания по содержанию книги. Замечания просим направлять по адресу: 101000 Москва, Главпочтамт, а / я 693, редакция научно-популярной литературы и массовой радиобиблиотеки.

Авторы

Глава первая. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ СВЕТОТЕХНИКИ И КОЛОРИМЕТРИИ

Светотехнические величины

Рассмотрим основные светотехнические величины и единицы их измерения.

Световой поток (F). В ограниченном частотном диапазоне человеческое зрение воспринимает электромагнитную энергию как свет. Длины волн излучения, видимого глазом, составляют от 360 нм («фиолетовая» граница) до 700 нм («красная» граница). Эта видимая глазом энергия в указанном диапазоне волн определяет световой поток.

Кривая спектральной чувствительности человеческого зрения (кривая видности V (λ)) представлена на рис. 1. 1. Глаз наиболее чувствителен к зеленому цвету, менее — к красному и еще менее — к синему. Это значит, что при одинаковой мощности разноцветных световых потоков, попадающих в глаз, зеленый поток будет казаться наиболее ярким по сравнению с красным и синим.

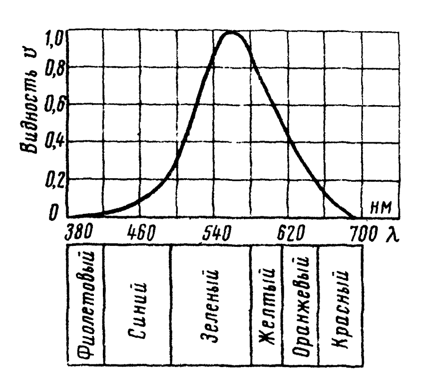


Рис. 1.1. Кривая спектральной чувствительности зрения человека

Световой поток измеряется в *люменах* (лм). Приведем для иллюстрации два эквивалента потока излучения (лучистого потока) и светового потока: для желто-зеленого цвета (длина волны $\lambda_{ж\text{-}з}$ = 550 нм), соответствующего наибольшей чувствительности глаза, 1 Вт= 683 лм; для белого цвета с равномерным распределением энергии в видимой части спектра 1 Вт= = 220 лм.

Сила света (*I*). Источник (например, светящаяся точка *А* на рис. 1.2) в общем случае может иметь неравномерное излучение по разным направлениям. Плотность светового потока в телесном угле выбранного направления называется силой света и определяется по формуле

$$I=dF/d\omega, \tag{1.1}$$

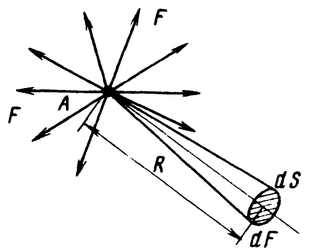
где dF — световой поток, проходящий через площадку dS; $d\omega=dS/R^2$ — соответствующий телесный угол (рис. 1.2).

Единица силы света называется *канделой* (кд). Если в телесном угле, равном одному стерадиану (ср), проходит, равномерно распределяясь, световой поток в 1 лм, то сила света в этом направлении равна одной канделе: 1 кд= 1 лм/1 ср.

Освещенность (Е). Плотность светового потока по поверхности S, на которую он падает, называется освещенностью

$$E=F/S. \tag{1.2}$$

Единицей освещенности является *люкс* (лк). Освещенность в 1 лк создается световым потоком в 1 л на площади в 1 м²; 1 лк= 1 лм/1 м². Освещенность экрана в кинотеатре составляет приблизительно 200 лк. Освещенность объекта передачи в телевизионной студии достигает 2000 лк.



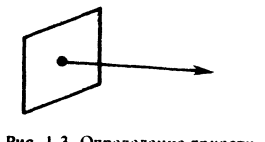


Рис. 1.3 Определение яркости

Рис. 1.2. Определение силы света

Яркость (В). Яркость характеризуется плотностью силы света по площади, которая этот свет излучает (рис. 1. 3):

$$B = I/S. \quad (1.3)$$

Единицей яркости является кандела на квадратный метр: 1 кд/м².

Яркость экрана кинескопа на белых участках изображения составляет от 40 до 80 кд/м².

Понятие о цвете

Цвет — ощущение, вызываемое в нашем органе зрения видимыми лучами света. В колориметрии (науке о цветах) цвет определяется т р е м я величинами: яркостью, цветовым тоном и насыщенностью.

Яркость светящегося источника связана с величиной лучистого потока, попадающего от этого источника в наш глаз. Очевидно, что чем больше яркость, тем большее световое раздражение получают глаза.

Цветовой тон рассматриваемого объекта связан со спектральным составом излучения. По цветовому тону объекта мы можем судить об окраске объекта — синей, зеленой, красной и т. д. Отдельные участки видимого спектра различаются по окраске, т. е. вызывают ощущение различного цвета. Поэтому цветовой тон удобно характеризовать цифрой — той или иной длиной волны (λ) спектрального излучения.

Приведем для примера следующие цветовые тона на экране кинескопа цветного телевидения и соответствующие им длины волн эквивалентных спектральных излучений: красному цветовому тону соответствует $\lambda_к = 620$ нм, зеленому — $\lambda_з = 540$ нм, синему $\lambda_с = 470$ нм.

Насыщенность (обычно обозначаемая буквой p) характеризует степень «разбавления» цветового тона белым цветом. Например, ярко-красная (насыщенная) краска может быть разбавлена белой краской (белилами, мелом). При таком разбавлении цветовой тон не меняется, меняется только насыщенность. Розовая и красная краски не отличаются цветовым тоном. Различие заключается только в насыщенности.

Наибольшей насыщенностью обладает монохроматический (одноцветный) источник, излучающий свет только одной длины волны. Насыщенность такого источника максимальна: $p = 100\%$. Для белого «неподкрашенного» цвета $p = 0$.

Яркость характеризует количественную величину излучения; мощность, световой поток, цветовой тон и насыщенность являются качественными характеристиками источника света. Эти характеристики часто объединяются в одно понятие — цветность. Таким образом,

Цвет → яркость
→ цветность ➧ цветовой тон
➧ насыщенность

Забегая вперед, отметим, что полный сигнал цветного телевидения, кроме информации о яркости различных участков изображения (как в черно-белом телевидении), должен содержать дополнительную информацию, соответствующую качественной характеристике — цветности.

Светочувствительная поверхность нашего глаза — сетчатка — образована двумя видами светочувствительных элементов — палочками и колбочками.

Палочки — нервные светочувствительные элементы, хорошо реагируя на яркость, не способны определить цветность источника излучения.

Колбочки — обладая невысокой чувствительностью к яркости светового источника, хорошо различают его цветовой тон и насыщенность, т. е. цветность. В сумерках, при слабой освещенности, малочувствительные колбочки перестают работать. Работают только палочки, поэтому в полумраке мы не видим, не различаем цвета. Остается только ощущение яркости полутемных предметов.

Академик И. П. Павлов, долго и плодотворно изучавший высшую нервную деятельность животных, установил бесспорно, что восприятие цвета у большинства животных значительно хуже по сравнению с человеком. Собаки, например, не различают цветов. Все изображения, даже весьма красочные, воспринимаются этими животными в черно-серо-белых тонах.

Физические и субъективные характеристики цвета

Известно, что цвет связан с длиной волны светящегося источника (рис. 1.1). Например, монохроматическое излучение на длине волны $\lambda_{ж\text{-}з} = 550$ нм ощущается как желто-зеленое излучение, а при $\lambda_к = 700$ нм источник воспринимается красным.

Однако вследствие своеобразных свойств зрения источники, резко отличающиеся от монохроматических, могут создать такие же ощущения цвета, как и монохроматические. Например, ощущение оранжевого цвета можно получить от монохроматического источника, излучающего энергию на длине волны около 600 нм, а также от смеси источников красного ($\lambda_к = 700$ нм) и зеленого ($\lambda_з = 500$ нм) в соответствующей энергетической пропорции. При правильном подборе относительной энергии этих источников глаз практически не в состоянии качественно отличить цветность этой смеси от монохроматического источника желтого цвета.

Вообще говоря, заданная цветность видимого глазом источника может быть создана бесчисленными сочетаниями световых излучений в соответствующих пропорциях.

Нормальный человеческий глаз различает около 180 цветовых тонов (постепенные переходы, едва заметные на глаз, от красного к оранжевому, от оранжевого к желтому и т. д.). Означает ли это, что для передачи всех цветовых тонов цветное телевидение должно иметь по сравнению с черно-белым канал связи в 180 раз большей пропускной способности? Это не так. Здесь выручает замечательное свойство человеческого зрения, заключающееся в том, что любой из 180 цветовых тонов может быть представлен в цветовом восприятии зрения в виде смеси только трех основных цветов: красного, зеленого и синего. Подбором соответствующей яркости каждого из этих компонентов смеси можно получить все 180 цветовых оттенков.

Три основных цвета обозначаются в колориметрии латинскими буквами: красный *(R)*, зеленый *(G)* и синий *(B)*[1].

Возможность получения разнообразных цветовых тонов путем сложения в нужной пропорции основных цветов *R*, *G* и *B* объясняется специалистами тем обстоятельством, что цветочувствительные колбочки на светочувствительной поверхности внутри глаза (сетчатке) разделяются, по-видимому, на три «сорта» по цветовой чувствительности — «красные», «зеленые» и «синие». Одновременное возбуждение в разных пропорциях этих разных групп колбочек светом, поступающим от наблюдаемого объекта, вызывает разнообразные цветовые ощущения.

Три основных цвета *R*, *G* и *B* являются взаимонезависимыми. Это означает, что ни один из них не может быть получен путем сложения (смешения) двух других.

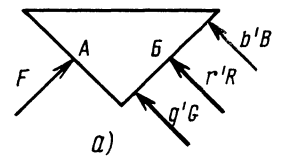
Опыты по сложению цветов удобно проводить с помощью равнобедренной призмы, имеющей белые матовые поверхности — грани *А* и *Б* (рис. 1. 4*а*). На одну грань падает исследуемый световой поток *F*, на другую — световые потоки

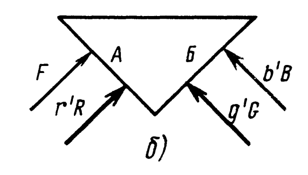
---

[1] Такое обозначение трех основных цветов принято у нас и за рубежом: красный *Red* (англ), *Rot* (нем), *Rouge* (фр); зеленый *Green* (англ), *Grün* (нем), *Vert* (фр); синий *Blue* (англ), *Blau* (нем), *Bleu* (фр).

Расхождение в первых буквах имеется только во французском слове *vert* (зеленый). Поэтому во Франции основные три цвета часто обозначаются *R*, *V*, *B*.

Рис. 1.4. Сложение цветов с помощью призмы:
а — все три компонента положительны; *б* — компонент *R* отрицателен





основных цветов *R*, *G* и *B*. Регулируя значения этих потоков, можно добиться на глаз равенства яркости и цветности по обеим граням призмы. В этом случае выполняется по качеству и по количеству основное колориметрическое уравнение

$$F = r'R + g'G + b'B. \qquad (1.4)$$

В этом уравнении *R*, *G* и *B* являются единицами светового потока основных источников света — красного, зеленого и синего. Коэффициенты r', g' и b', показывающие, какое количество единиц *R*, *G* и *B* необходимо взять, чтобы в сумме по яркости и цветности получить заданный световой поток *F*, называются *компонентами* потока *F*.

В колориметрии за основные цвета для измерительных целей приняты следующие монохроматические излучения: для $R\,\lambda_R = 700$ нм; для $G\,\lambda_G = 546{,}1$ нм и для $B\,\lambda_B = 435{,}8$ нм (спектральные линии паров ртути).

Такая группа основных цветов определяет общепринятую колориметрическую систему *RGB*.

В указанной системе *RGB* для некоторых цветов не удается получить качественное и количественное равенство при любом соотношении величин трех основных цветов. В этом случае может понадобиться перенос одного из компонентов с правой половины призмы на левую. На рис. 1. 4*б* показан пример, когда насыщенный зелено-синий поток неидентичен никаким положительным сочетаниям трех основных цветов. При переносе красного компонента с правой грани на левую можно, не меняя количества потока *F*, подбором значений r', g' и b' добиться равенства зрительного ощущения на левой и правой гранях. Это значит, что один из компонентов (в нашем примере красный) войдет в уравнение (1. 4) с отрицательным знаком: $F + r'\ R = g'\ G = b'\ B$ или $F = g'\ G + b'\ B - r'\ R$.

Уравнение (1.4) содержит сведения о всех трех параметрах цвета яркости, цветовом тоне и насыщенности. Часто, однако, бывает необходимым и достаточным иметь сведения только о качественных характеристиках источника — цветовом тоне и насыщенности, т. е. о цветности. С этой целью уравнение (1.4) преобразуется следующим образом. Сумма яркостей основных цветов $r' + g' + b' = m$ называется цветовым модулем. Разделив обе части уравнения (1.4) на цветовой модуль, получим:

$$\frac{F}{m} = f = \frac{r'}{m} R + \frac{g'}{m} G + \frac{b'}{m} B.$$

Трехцветные коэффициенты $r = r'/c;\ g = g'/m;\ b = b'/m$ определяют относительную (например, процентную) величину цветов в составе *единичного* потока f:

$$f = rR + gG + bB. \qquad (1.5)$$

Очевидно, что сумма трехцветных коэффициентов всегда равна единице (или 100%): $r + g + b = 1$.

Цветовой треугольник

Для наглядного представления о количественных и качественных соотношениях при оперировании различными цветами в колориметрии используется так называемый *цветовой треугольник*. Представим себе, что в вершинах равностороннего треугольника *RGB* (рис. 1.5) расположены три основных источника света равной мощности — красный, зеленый и синий. Если включить только один из источников, то по мере удаления от него интенсивность излучаемого им света будет, естественно, убывать. Для простоты дальнейших рассуждений будем считать, что

интенсивность света, исходящего от источника *R*, в точках *G* и *B* практически снижается до нуля (для этого треугольник *RGB* должен быть достаточно большим). Это условие выполняется и для источников *G* и *B*, т. е. интенсивность излучаемого ими света в противоположных вершинах также практически равна нулю.

Для проведения опытов, иллюстрирующих законы сложения цветов, воспользуемся пустотелым матовым стеклянным шаром. Этот шар будет служить нам своеобразным индикатором *И*.

Первый опыт. Включаем поочередно только один из источников света, например *R*. Шар *И*, расположенный вблизи источника *R*, будет при этом красным. По мере удаления от *R* по линии *RG* или *RB* шар, оставаясь красным, будет темнеть и в точке *G* (или *B*) станет черным.

Второй опыт. Включим два источника света *R* и *G*. Очевидно, что вблизи этих источников шар *И* будет либо красным, либо зеленым. В промежуточных же положениях на линии *RG* цвет шара будет меняться, т. е. при движении шара от источника *R* к источнику *G* его цвет будет плавно переходить от красного к оранжевому, от оранжевого к желтому, от желтого к зеленому. Таким образом, оранжевый и желтый цвета можно получить сложением (смесью) двух цветов — красного и зеленого. Причем оранжевый цвет отличается, например, от желтого бóльшим количеством красного.

Третий опыт. Включим два источника света *B* и *G*, а шар *И* поместим на линию *BG*. При перемещении шара от *B* к *G* его цвет будет плавно изменяться от синего к сине-зеленому, от сине-зеленого к зеленому.

Четвертый опыт. Перемещаясь по линии *BR*, шар *И* будет последовательно окрашиваться в синий, сиреневый, пурпурный, вишневый и красный цвета.

Таким образом, на сторонах *RG*, *GB* и *BR* треугольника *RGB* расположены практически все цветовые тона, различаемые человеческим глазом.

Пятый опыт. Включив все три источника, можно внутри треугольника *RGB* найти такую точку *E*, в которой контрольный шар будет белым. Таким образом, белый цвет может быть получен сложением в определенных количествах трех основных цветов: красного, зеленого и синего.

Шестой опыт. При перемещении шара по линии *RE* его красный цвет не будет изменяться. Будет изменяться только насыщенность красного цвета, т. е. разбавленность красного белым. В точке *R* шар будет насыщенно красным. По мере приближения к белой точке *E* красный цвет будет выцветать, переходя через оттенки розового, в точке *E* насыщенность упадет до нуля, шар станет белым.

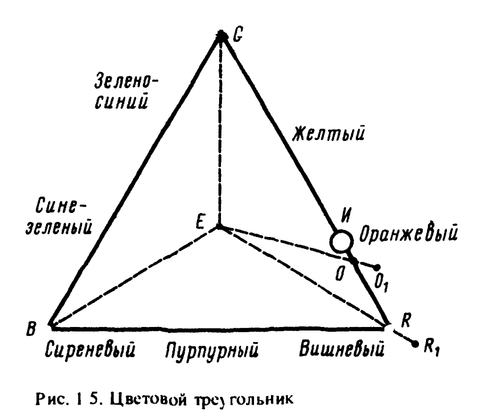
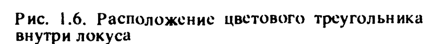


Рис. 1.5. Цветовой треугольник



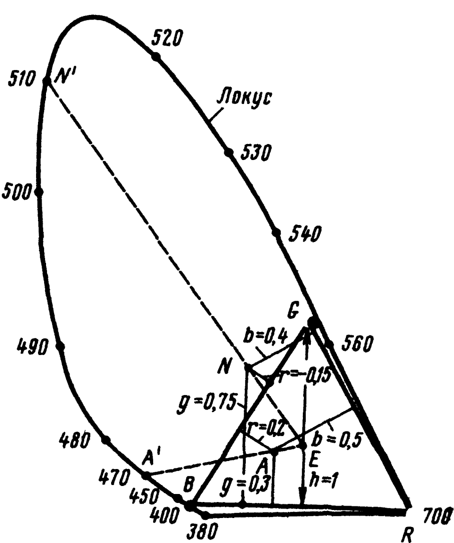


Рис. 1.6. Расположение цветового треугольника внутри локуса

Точно так же при перемещении шара по линии BE его цвет не изменится (останется синим). Ослабляется только насыщенность. На этой линии шар от насыщенного синего пройдет через все оттенки синего и станет в точке E совершенно белым.

Такая же картина имеет место для линии GE и вообще для всех других отрезков прямой, соединяющих точку E белого цвета со всеми точками на сторонах цветового треугольника RGB. Например, двигаясь от насыщенно оранжевой точки по линии OE, шар не будет изменять оранжевого цвета. Будет меняться только насыщенность.

Важно отметить, что реальные источники света не имеют 100%-ной насыщенности. Какой бы красный (зеленый, синий) источник мы ни выбирали — цветной фонарик, катодолюминофор кинескопа, — насыщенность этих источников всегда менее 100%. Колориметрия установила, что 100%-ная насыщенность теоретически имеет место только в случае, когда источник излучает энергию строго одной длины волны. К такому источнику света, имеющему насыщенность, близкую к 100%, можно отнести лазер, излучающий энергию практически на одной длине волны.

Поскольку насыщенность красного цвета (рис. 1.5) увеличивается по мере продвижения от точки E, например, по прямой RE, а источник в точке R не имеет 100%-ной насыщенности, то 100%-ная насыщенность достигается в точке R_1, лежащей от точки E дальше, чем точка R. Точка R_1 соответствует источнику монохроматического цвета.

Аналогично обстоит дело и с неосновными цветами. Например, источник со 100%-ной насыщенностью оранжевого монохроматического цвета соответствует точке O_1, отстоящей от E дальше, чем точка O. Соединив все монохроматические точки R_1O_1... сплошной кривой, получим так называемый *локус*, на котором расположены все цвета со 100%-ной насыщенностью (рис. 1.6).

Поясним теперь, как при помощи трех основных цветов R, G и B можно определить цветность для любой точки, лежащей внутри цветового треугольника. Для этой цели возьмем, например, точку A (рис. 1.6). Для определения трехцветных коэффициентов удобно в расчетах высоту треугольника h принять за единицу. При заданном внутри треугольника положении точки A длины перпендикуляров, опущенных из нее на стороны треугольника, определяют относительные величины (трехцветные коэффициенты) основных цветов в световом потоке, цветность которого определяется точкой A. В примере на рис. 1.6 $A=0{,}2R+$ $+0{,}3G+0{,}5B$, причем $r+g+b=1$.

Цветовой тон источника светового потока A определяется проведением отрезка прямой из точки E через точку A до пересечения с локусом: $\lambda_A=470$ нм. Когда точка N находится вне цветового треугольника, один из трехцветных коэффициентов (в нашем примере r) оказывается отрицательным (см. также рис. 1.4*б*). Относительные составляющие и в таких случаях определяются длиной отрезков, опущенных из точки N на стороны цветового треугольника RGB. Однако один из них — в нашем примере r — падает на соответствующую сторону *снаружи*, т. е. является отрицательным: $r=-0{,}15$, причем $g+b-r=0{,}75+$ $+0{,}4-0{,}15=1$. Соответствующий цветовой тон источника N составит $\lambda_N=$ $=510$ нм.

Насыщенность источников световых потоков A и N можно определить из соотношения отрезков:

$$p_A=\frac{AE}{A'E}\,100\,\% = \frac{4{,}25}{21{,}5}\,100\% = 19{,}8\%;$$

$$p_N=\frac{NE}{N'E}100\% = \frac{12{,}5}{59}\,100\% = 21{,}2\%.$$

Цветовой график

В вершинах цветового треугольника RGB (рис. 1.5) расположены источники основных цветов, обладающие одинаковой мощностью излучения (например, $R=G=B=1$ Вт). Однако в светотехнике и колориметрии предпоч-

тительней для практики использовать основные цвета, измеряемые в светотехнических единицах — люменах (световой поток) или люксах (освещенность), или в канделах на квадратный метр (яркость). Это объясняется, в частности, тем, что, например, несравненно проще сконструировать прибор — фотометр, измеряющий световой поток в люменах, чем прибор для измерения лучистой энергии в ваттах.

В треугольнике, имеющем в вершинах основные цвета, измеряемые в ваттах, равноэнергетический белый цвет E будет иметь равные координаты

$$E=\frac{1}{3}R\,(\text{Вт})+\frac{1}{3}G(\text{Вт})+\frac{1}{3}B(\text{Вт})$$

и изображающая его точка окажется в центре треугольника.

Однако если в вершинах цветового треугольника разместить более удобные для расчетов и измерений основные цвета, измеряемые в светотехнических единицах: $R=G=B=1$ лм, то координаты точки E резко изменяются и эта точка сильно сместится к верхней части стороны RG треугольника. Экспериментально установлено, что в этом случае цветовое уравнение для равноэнергетической точки E будет иметь вид

$$E(\text{лм}) = 0{,}177\,R\,(\text{лм})+0{,}813\,G\,(\text{лм})+0{,}01\,B\,(\text{лм}).$$

Существенное различие в трехцветных коэффициентах в этом уравнении объясняется различной спектральной чувствительностью глаза к источникам разных длин волн видимого спектра (см. рис. 1.1).

На рис. 1.7 представлен цветовой треугольник RGB с расположенной в нем точкой равноэнергетического белого цвета E, имеющего трехцветные коэффициенты $r_E=0{,}177$; $g_E=0{,}813$; $b_E=0{,}01$. В этом треугольнике белый цвет E оказывается смещенным к стороне GR и практически совпадает с точкой локуса $\lambda=570$ нм. Для промежуточных цветов между белым E и спектральным $\lambda=570$ нм на цветовой диаграмме совсем не остается места. Для того чтобы цветовая диаграмма стала практически удобной, желательно придать ей иную форму в смысле расположения точек, изображающих цвета внутри треугольника.

Изложенное выше выявляет следующие недостатки цветового треугольника RGB(лм), затрудняющие его использование для разнообразных цветовых расчетов: 1) в основное колориметрическое уравнение (1.4) для многих реальных цветов одна из трех основных составляющих входит с отрицательным знаком; 2) точка равноэнергетического белого цвета E оказывается смещенной к

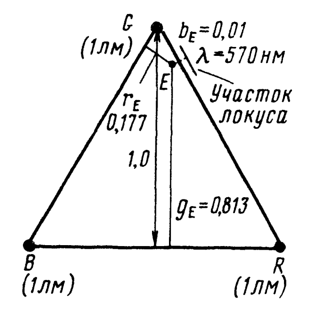
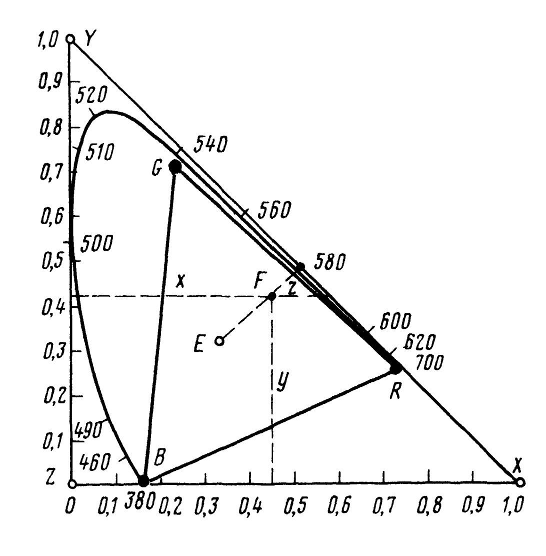


Рис. 1.7. Расположение равноэнергетического цвета E внутри локуса



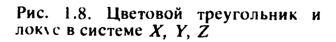


Рис. 1.8. Цветовой треугольник и локус в системе X, Y, Z

стороне GR цветового треугольника; 3) для определения светового потока (или яркости) цвета, составленного из трех основных цветов, необходимо знать величины всех трех основных потоков r', g' и b'.

В 1931 г. Международная комиссия по освещению (МКО) приняла новую колориметрическую систему XYZ, лишенную перечисленных недостатков. В этой системе используется цветовой график в виде равнобедренного прямоугольного треугольника (рис. 1.8). В вершинах этого треугольника расположены условные (нереальные) цвета X, Y, Z, суммированием которых в соответствующих пропорциях можно получить все реальные цвета с любой насыщенностью и любым цветовым тоном.

Локус, определяющий вместе с пурпурной линией область всех реальных цветов, находится внутри треугольника XYZ. Это означает, что в основное колориметрическое уравнение

$$F = x'X + y'Y + z'Z \qquad (1.6)$$

составляющие $x'X$, $y'Y$, $z'Z$ для всех реальных цветов входят всегда только с положительным знаком.

Точки основных цветов X, Y, Z рассматриваемой системы находятся с внешней стороны локуса и линии пурпурных цветов. Это означает, что насыщенность в этих точках более 100%, что не имеет физического смысла. Именно поэтому цвета X, Y и Z являются нереальными. Вместе с тем, нереальность не исключает возможности их использования для разнообразных колориметрических расчетов.

На рис. 1.8 показан цветовой треугольник RGB колориметрической системы $\lambda_R = 700$ нм, $\lambda_G = 546{,}1$ нм и $\lambda_B = 435{,}8$ нм, находящийся внутри треугольника колориметрической системы XYZ. Если значения R, G и B выражаются единицами светового потока, то связь между единицами XYZ и RGB определяется следующими уравнениями[1]:

$$\begin{aligned} X &= 0{,}4184\,R - 0{,}4185\,G + 0{,}0001\,B; \\ Y &= -0{,}1587\,R + 1{,}1589\,G - 0{,}0002\,B; \\ Z &= -0{,}0828\,R + 0{,}0721\,G + 0{,}0107\,B. \end{aligned} \qquad (1.7)$$

Подставив в (1.7) $R = G = B = 1$ лм, получим

$$\begin{aligned} X &= 0{,}4184 \cdot 1 - 0{,}4185 \cdot 1 + 0{,}0001 \cdot 1 = 0; \\ Y &= -0{,}1587 \cdot 1 + 1{,}1589 \cdot 1 - 0{,}0002 \cdot 1 = 1 \text{ лм}; \\ Z &= -0{,}0828 \cdot 1 + 0{,}0721 \cdot 1 + 0{,}0107 \cdot 1 = 0. \end{aligned}$$

Из этих соотношений следует, что световой поток единиц X и Z равен нулю, а поток единицы Y равен 1 лм. Таким образом, в уравнении (1.6) только член $y'Y$ полностью определяет значение светового потока.

Подобно уравнению (1.5), трехцветные коэффициенты системы XYZ, определяющие цветность потока F, находятся из соотношений

$$\left.\begin{aligned} x &= x'/(x'+y'+z') = x'/m \\ y &= y'/(x'+y'+z') = y'/m \\ z &= z'/(x'+y'+z') = z'/m \end{aligned}\right\}, \qquad (1.8)$$

где $m = x' + y' + z'$ — цветовой модуль.

Из (1.8) следует, что $x + y + z = 1$. Таким образом, для определения цветности потока достаточно определить только два коэффициента — обычно x и y; значение третьего z дополняет сумму первых двух до единицы.

Отметим важное обстоятельство, что в системе XYZ трехцветные коэффициенты для точки равноэнергетического белого цвета E равны: $x_E = y_E = z_E = 1/3$.

---

[1] Теоретические и практические обоснования перехода от системы RGB к системе XYZ можно найти в ряде книг, например: Новаковский С. В. Цветное телевидение. — М.: Связь, 1975.

Для иллюстрации использования графика XYZ определим параметры, характеризующие цветность потока F (рис. 1.8). Трехцветные коэффициенты: $x=0{,}450; y=0{,}425; z=1-(x+y)=0{,}125$.

Две координаты совершенно однозначно определяют цветность. Однако часто желательнее вместо координат x и y иметь сведения о двух наглядных параметрах — о цветовом тоне и насыщенности. Цветовой тон определяется пересечением прямой EF с локусом. Так, для точки F цветовой тон $\lambda_F = 580$ нм.

В координатах XYZ насыщенность вычисляется по формуле

$$p=\frac{y_\lambda}{y_F}\,\frac{y_F-y_E}{y_\lambda-y_F}\,100\%. \tag{1.9}$$

Величины, входящие в эту формулу, означают следующее: y_λ — координата на локусе, соответствующая точке, определяющей цветовой тон; y_F — координата точки рассматриваемого потока F; $y_E = 1/3$ — координата белого цвета E. (Координаты y в формуле (1.9) могут быть заменены на координаты x или z. При этом рассчитанное значение p не меняется.) Вычисления по (1.9) дают

$$p_F=\frac{0{,}475}{0{,}425}\cdot\frac{0{,}425-0{,}333}{0{,}475-0{,}333}\,100\,\% = 8{,}6\,\%.$$

В соответствии с (1.9) насыщенность белого цвета E равна нулю, а насыщенность спектрального (монохроматического) цвета равна 100%. В самом деле, для точки белого цвета

$$y_F=y_E=\frac{1}{3};\ p_E=\frac{y_\lambda}{y_E}\,\frac{y_E-y_E}{y_\lambda-y_E}\,100\% = 0.$$

Для спектрального цвета $y_\lambda = y_F$ и $p\lambda = 100\%$.

Стандартные источники белого цвета

На правильное воспроизведение цветов в телевидении существенно влияет выбор источника белого цвета. В наших рассуждениях мы до сих пор имели в виду так называемый равноэнергетический белый цвет E. Такой источник имеет равномерную плотность распределения энергии по спектру в видимой области (рис. 1.9). Источник с таким спектральным распределением весьма удобен для многих рассуждений и расчетов, но имеет существенный недостаток: он нереален, никакой существующий в природе источник света не может иметь и не имеет подобного спектрального распределения энергии.

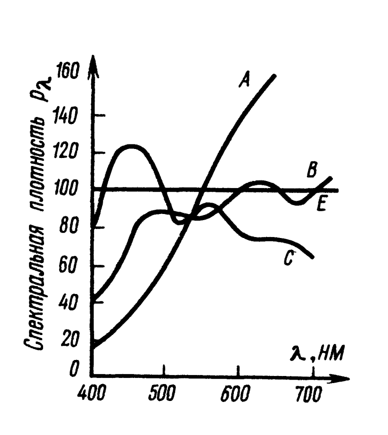


Рис. 1.9 График относительной плотности излучения различных источников белого цвета

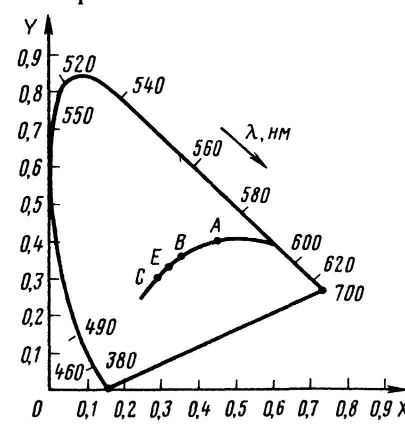


Рис. 1.10. Цветности различных белых источников

Кроме равноэнергетического источника белого цвета *E*, в технике цветного телевидения используются другие источники, обозначаемые обычно буквами *A*, *B*, *C* и *D*. Излучение этих источников характеризуется так называемой *цветовой температурой* (обозначается $T_{цв}$ и выражается в градусах Кельвина). Для объяснения понятия цветовой температуры обратимся к абстрактному понятию — абсолютно черному телу, обладающему тем свойством, что оно полностью поглощает весь падающий на него поток лучистой энергии, ничего не отражая. Излучение абсолютно черного тела зависит только от его температуры, и в пределах видимого спектра цветность его излучения определяется температурой, называемой цветовой.

По мере увеличения цветовой температуры длина волны λ_{max} излучения, соответствующая максимуму этого излучения, уменьшается:

$$\lambda_{max} = 2,896 \cdot 10^6 / T_{цв}, \text{ нм.} \quad (1.10)$$

Таблица 1.1

Основные параметры источников белого цвета

Тип источника	Цветовая температура, К	Соответствие природному источнику света	Цветовой тон λ, нм	Насыщенность *p*, %	Координаты цветности	
					x	*y*
A	2848	Вольфрамовая лампа накаливания	583	65	0,4476	0,4074
B	4800	Северное небо в первой половине дня	574	15	0,3484	0,3516
C	6500	Солнечный день при голубом небе	482	5	0,3100	0,3516

Реальные источники белого цвета удобно сравнивать по цветовой температуре излучения абсолютно черного тела. В табл. 1.1 приведены параметры таких источников. Используя координаты *x* и *y* источников (трехцветные коэффициенты), можно на цветовом графике построить кривую цветностей различных белых источников (рис. 1.10). По мере увеличения цветовой температуры цветовой тон источника переходит от красного к зеленому, затем синему, а насыщенность его уменьшается, что приближает этот источник к более белому.

На рис. 1.9 представлены графики относительной плотности излучения рассматриваемых источников. Как видно из графика, у источника *A* превалирует красно-оранжевое излучение. Характеристики источника *B* приближаются к характеристикам равноэнергетического источника *E*. График относительной плотности излучения источника *C* имеет подъем в области синего.

В табл. 1.1 показано, какому природному источнику света близки источники *A*, *B*, *C*.

Глава вторая. СТРУКТУРНЫЕ СХЕМЫ ЦВЕТНОЙ ТЕЛЕВИЗИОННОЙ ПЕРЕДАЧИ

Одновременное и поочередное сложение цветов

Ощущение в зрительном аппарате человека, вызываемое воздействием на светочувствительную поверхность — сетчатку — нескольких цветовых потоков, может осуществляться двумя способами сложения: одновременным и поочередным.

При одновременном сложении цветов на светочувствительную поверхность глаза воздействуют одновременно несколько источников различного цвета. В качестве примера такого одновременного сложения представим следующую простую

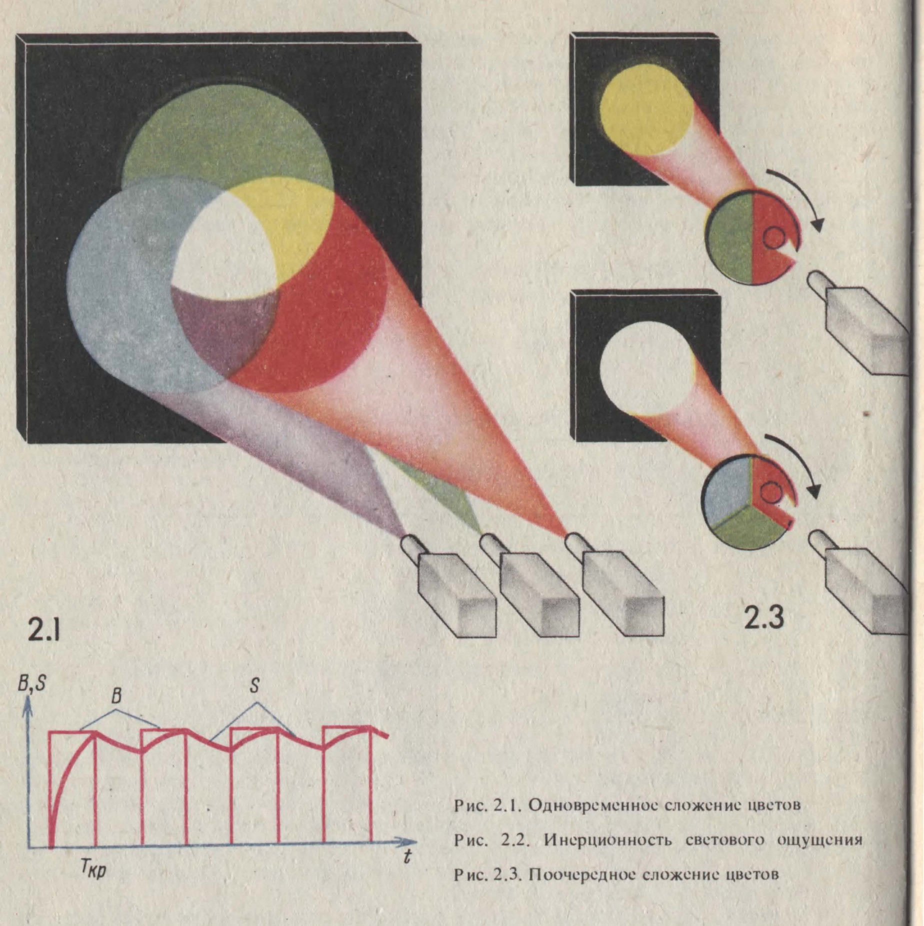


Рис. 2.1. Одновременное сложение цветов

Рис. 2.2. Инерционность светового ощущения

Рис. 2.3. Поочередное сложение цветов

схему (рис. 2.1). На экран проецируются световые потоки, например, от трех источников — проекционных фонарей: красного, зеленого и синего. При включении только двух из них, например красного и зеленого, светящиеся круги при наложении на экране дадут, в соответствии с рис. 1.5, оранжевый или желтый цвет, причем цветовой тон будет зависеть от относительной интенсивности красного и зеленого.

В соответствии с основными правилами колориметрии синий и красный световые потоки дадут на экране пурпурные цвета, и в зависимости от относительной интенсивности синего и красного светящееся пятно на экране может иметь сиреневые, пурпурные или вишневые оттенки.

Включив все три источника — красный, зеленый и синий и подобрав в нужной пропорции их световые потоки, можно получить на экране белое пятно.

Поочередное сложение цветов возможно в силу инерционности светового ощущения в сознании человека (рис. 2.2). Представим себе мелькающий источник света, создающий периодически повторяющиеся импульсы яркости. Вследствие инерционности зрительного аппарата при достаточно высокой частоте этих импульсов $F_{кр} = 1/T_{кр}$ отдельные вспышки яркости B сольются в ощущение непрерывного свечения S.

Примером поочередного сложения цветов может служить устройство, показанное на рис. 2.3. Конус белого света, создаваемый одним источником, проходит через вращающийся диск со светофильтрами. Эти светофильтры могут представ-

лять собой секторы из окрашенных прозрачных пленок. Диск, например, с двумя светофильтрами — красным и зеленым при достаточно высокой частоте его вращения (чтобы не было видно мельканий) создает на экране ощущение желтого (или оранжевого) цвета. Диск, имеющий три светофильтра — красный, зеленый и синий, при соответствующем подборе прозрачностей (или площади) секторов вызывает на экране ощущение белого цвета.

При разработке систем цветного телевидения делались попытки использования обоих способов сложения цветов. В современном вещательном телевидении получил применение способ одновременного сложения. Однако в некоторых прикладных системах цветного телевидения часто, по ряду причин устройства с поочередным сложением цветов оказываются предпочтительнее.

Система цветного телевидения с поочередным сложением цветов

Исторически первыми были разработаны телевизионные системы с поочередным сложением цветов. Эти системы привлекали простотой и ясностью принципа действия. Структурная схема передающего и приемного устройства такой системы изображена на рис. 2.4.

Перед обычной (черно-белой) передающей камерой вращается диск с тремя светофильтрами, окрашенными в основные цвета. Частота вращения диска должна быть выбрана такой, чтобы за время прохождения перед объективом камеры светофильтра одного цвета осуществилась развертка всего проектируемого на фотокатод передающей трубки изображения. После усиления видеосигнал подается на передатчик и затем на несущей частоте излучается в эфир. Принятый антенной сигнал после приемника и видеоусилителя подается на управляющий электрод черно-белого кинескопа. Перед его экраном вращается диск со светофильтрами, подобный диску на передающей стороне. Телезритель смотрит на экран телевизора через вращающийся диск.

Диск у передающего устройства служит для цветового анализа передаваемого изображения. Сложное по цветовому составу изображение *O* (рис. 2.5) разделяется на три последовательных одноцветных кадра *R*, *G* и *B*. На этом рисунке желтая стенка домика или желтое солнце передается, согласно законам колориметрии, в двух кадрах — красном и зеленом. Белое окно — в трех кадрах.

При достаточно быстром вращении дисков отдельные одноцветные изображения на экране кинескопа сливаются в многоцветную картину, соответствующую оригиналу.

Очевидно, что для правильной цветопередачи, кроме электронной синхронизации разверток в передающей и приемной трубках, необходимо еще осуществить механическую синхронизацию и фазировку вращения электродвигателей с дисками. На структурной схеме (рис. 2.4) необходимость такой синхронизации показана

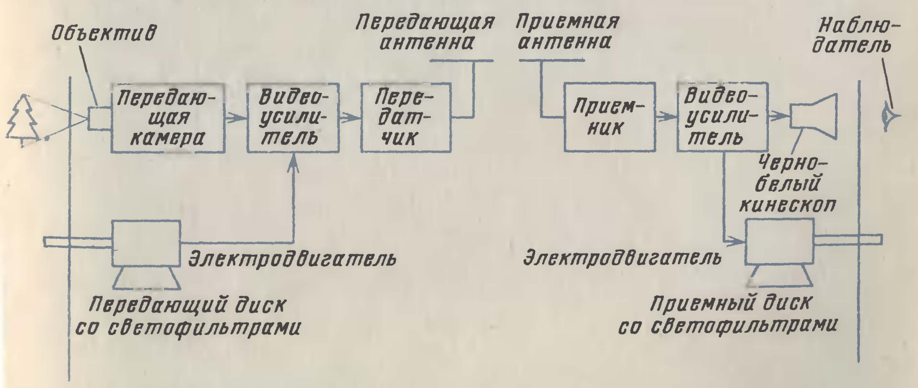


Рис. 2.4. Структурная схема телевизионной системы с поочередным сложением цветов



Рис. 2.5. Разложение многоцветного изображения *О* на три основных составляющих *R*, *G* и *B*

линиями со стрелками, идущими от электродвигателя к видеоусилителю (передающая сторона) и от видеоусилителя к электродвигателю (приемная сторона).

В СССР в 1948—1954 гг. была разработана подобная система с поочередной передачей цветных полей, и с 1953 по 1956 гг. в Москве проводилось опытное вещание по этой системе. Однако по причинам, изложенным далее, это вещание прекратилось.

Основными достоинствами системы с поочередным сложением цветов являются: простота идеи; использование только одной передающей трубки; одного обычного (черно-белого) кинескопа; простота цветовой синхронизации. Создается впечатление, что стоит только к обычному черно-белому телевизионному оборудованию пристроить на передающей и приемной сторонах по электродвигателю с вращающимися светофильтрами, как система телевидения станет цветной.

Действительно, в ряде специальных случаев система с поочередным сложением цветов может быть с успехом использована. Однако для вещательного телевидения она оказалась непригодной. Следующие существенные недостатки системы заставили отказаться от ее применения в вещании: чрезмерно большая полоса частот телевизионного сигнала, трудность использования кинескопов с большим экраном, разрывы цветов при передаче движущихся изображений, невозможность совместимости.

Рассмотрение недостатков начнем с самого существенного для вещательного телевидения — невозможности совместимости. В настоящее время в нашей стране и за рубежом выпущено большое количество черно-белых телевизионных приемников, исчисляющееся десятками миллионов. В связи с этим следовало искать такие принципы построения системы цветного телевидения, которые согласовались бы с параметрами установленного стандарта черно-белого телевидения.

Важнейшие показатели этого стандарта — полоса частот, занимаемая телевизионным каналом, и частоты строчной и кадровой разверток. Если система цветного телевидения не будет удовлетворять стандарту хотя бы по этим двум основным показателям, владельцу черно-белого телевизора придется еще купить и цветной. И наоборот, приобретя цветной телевизор и не имея черно-белого, телезритель не будет иметь возможности смотреть черно-белые передачи.

Принцип совместимости в цветном телевидении означает, с одной стороны, возможность приема цветных передач на обычный черно-белый телевизор без всяких переделок в его схеме и конструкции (естественно, что эти передачи будут видны в черно-белом изображении), с другой стороны, приемник цветного телевидения также без всяких переделок должен быть способен кроме цветных принимать обычные черно-белые программы. Принцип совместимости означает со-

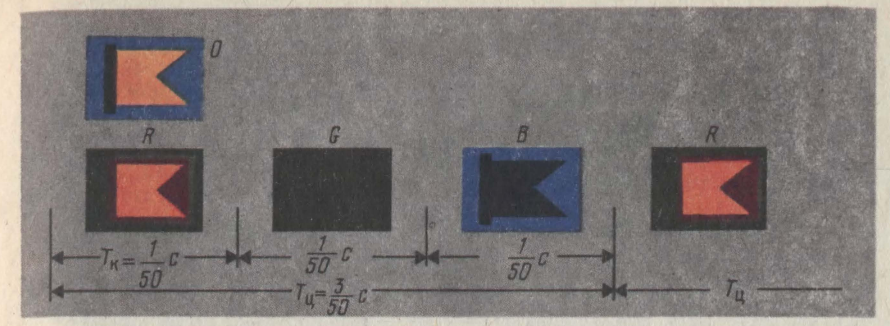


Рис. 2.6. Пример, поясняющий цветовое мелькание

существование цветного и черно-белого телевидения и обеспечивает возможность постепенного перехода от черно-белого телевидения к цветному.

Как уже было сказано, система с поочередным сложением цветов не удовлетворяет принципу совместимости. Основной причиной этого является так называемое цветовое мелькание. Поясним сказанное. Как известно, в телевидении при чересстрочной развертке передается 50 полей в 1 с. Эта частота смены кадров выбрана с таким расчетом, чтобы устранить мелькания. При более низкой частоте кадров все изображение неприятно мелькает. Повышая частоту кадров примерно до 40—45 полей/с, можно добиться исчезновения мельканий. Частота, при которой (и выше которой) мелькания становятся незаметными, называется критической. В телевидении частота кадров, выбранная равной 50 полей/с, во-первых, с некоторым запасом перекрывает критическую частоту мельканий; во-вторых, совпадение этой частоты с частотой питающей сети делает сетевые помехи (фон) на экране неподвижными, т. е. значительно менее заметными, чем движущиеся.

Посмотрим, как обстоит дело с мельканием в системе с поочередным сложением цветов, структурная схема которой изображена на рис. 2.4. Если для обеспечения принципа совместимости сохранить частоты строчной и кадровой разверток теми же, что и в черно-белом телевидении, то появятся недопустимые, неприятные и раздражающие телезрителя цветовые мелькания. Их появление можно пояснить на следующем простом примере. Допустим, что объектом передачи является изображение красного флага на синем фоне (рис. 2.6). Как видно из рисунка, хотя период полей составляет $T_п = 1/f_п = 1/50$ с, появление одного и того же цвета (например, красного) осуществляется с периодом $T_ц = 3T_п = 3/50$ с; частота цветовых мельканий оказывается втрое ниже, чем частота полей $f_ц = f_п/3 = 50/3 = 16{,}7$ Гц, т. е. значительно ниже критической частоты мельканий.

Для устранения неприятного явления цветового мелькания в системе с поочередным сложением цветов приходится втрое увеличивать частоту кадров. При этом частоты строчной и кадровой разверток также утраиваются, а генераторы разверток в обычном черно-белом телевизоре не могут работать без существенных переделок на утроенной частоте и поэтому поочередная система оказывается несовместимой.

При повышении частоты кадров втрое спектр частот телевизионного сигнала также расширяется в три раза, и система с поочередным сложением цветов оказывается несовместимой и по этому признаку.

Рассмотрим кратко другие недостатки системы, которые были бы не очень существенны и над устранением которых следовало бы поработать, если бы система была совместимой. Для современных телевизоров характерно использование кинескопов с большими размерами экрана (47, 59, 61 см и более по диагонали). Диск со светофильтрами, вращающийся перед таким экраном, должен иметь диаметр по крайней мере в два раза больше размера изображения. Такой большой вращающийся диск нельзя считать приемлемым для домашнего телевизионного приемника.

При передаче движущихся изображений, окрашенных в сложные цвета, неизбежны разрывы цветов. Например, оранжевый цвет изображения передается

двумя кадрами — красным и зеленым. Так как за время передачи кадра движущееся изображение (или его части) может заметно переместиться, его красная составляющая не совпадет точно с зеленой. Появится цветовая бахрома вдоль движения изображения. Нечто похожее происходит также при непроизвольном движении глаз телезрителя. Увидев пусть даже неподвижный оранжевый объект сначала зеленым, взгляд, не дожидаясь второго (красного) кадра, может переместиться на другую часть экрана, а оранжевый объект в сознании телезрителя останется зеленым.

Система с одновременным сложением цветов

Одна из возможных структурных схем передающего устройства системы с одновременным сложением цветов в упрощенном варианте представлена на рис. 2.7. Лучи света, отраженные от объекта передачи, попадают на цветоизбирательные (дихроичные) зеркала *1* и *4*. Дихроичное (двухцветное) зеркало обладает следующим свойством: оно отражает лучи одного цвета и пропускает лучи других, оставшихся цветов. Например, зеркало *1* отражает лучи *1-2* синего цвета, а пропускает лучи *1-4* зеленого и красного цветов.

Зеркало *4* отражает красные лучи *4-6* и пропускает зеленые *4-5*. Таким образом, на фотокатод каждой из трех передающих трубок камеры попадает только составляющая одного из трех основных цветов: *R*, *G* или *B*.

Для того чтобы все три сигнала можно было излучать одним передатчиком, их следует сначала разместить в одной общей полосе частот на поднесущие частоты. Для этого после усиления видеосигналы поступают на модуляторы, куда также подаются напряжения поднесущих частот f_R, f_G и f_B. В результате три видеосигнала оказываются разнесенными по оси частот, как показано на рис. 2.8. Если считать ширину спектров цветных сигналов одинаковой для всех сигналов (в черно-белом телевидении ширина спектра сигнала составляет около 6 МГц): $F = F_R = F_G = F_B = 6$ МГц, то ширина полного спектра частот сигнала одновременной системы

$$F_{\text{полн}} = 3F + 2\Delta F = 3 \cdot 6 + 2 \cdot 1 = 20 \text{ МГц}.$$

Защитные частотные полосы $\Delta F \approx 1$ МГц необходимы для четкого разделения цветных сигналов полосовыми фильтрами на месте приема. Таким образом, передатчик должен излучать в эфир сигнал с полосой частот около 20 МГц.

Структурная схема приемного устройства рассматриваемой системы с одновременным сложением цветов дана на рис. 2.9. После антенны, радиоприемника и усилителя сигнал поступает на три полосовых фильтра, которые выделяют из трех только одну из поднесущих f_R, f_G или f_B, соответственно промодулированных цветными сигналами F_R, F_G или F_B. После детектирования и усиления каждый из видеосигналов подается на управляющий электрод своего проекционного

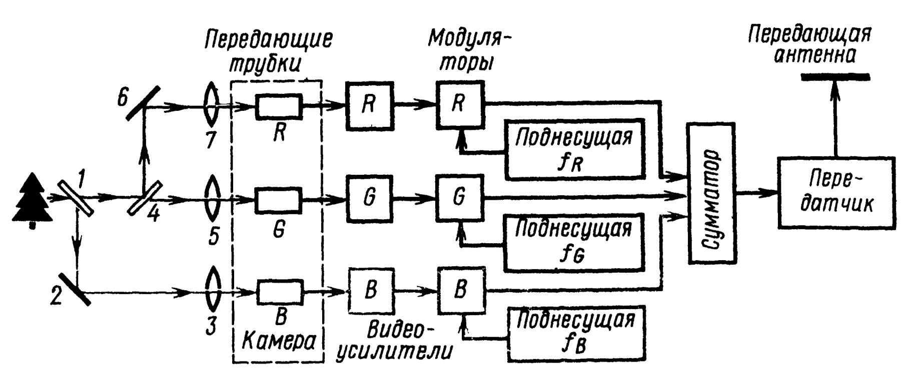
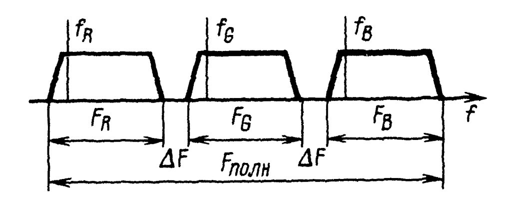


Рис. 2.7 Передающая часть упрощенного варианта телевизионной системы с одновременным сложением цветов

Рис. 2.8. Спектр частот в системе, приведенной на рис. 2.7



кинескопа. Можно было бы использовать черно-белые кинескопы с соответствующими светофильтрами перед экраном. Однако гораздо более эффективными являются кинескопы, у которых вещество катодолюминофора подобрано так, что он светится только одним из трех основных цветов: красным, зеленым или синим. Если объект передачи имеет вид, показанный на рис. 2.5, то на экранах трех цветных кинескопов появится соответственно одно из изображений: *R*, *G* или *B*. Напомним, что в поочередной системе эти изображения появляются поочередно. Здесь же, в одновременной системе, все три цветных изображения появляются одновременно на трех кинескопах.

При помощи проекционных объективов свет с экранов кинескопов проецируется на большой экран, где и происходит одновременное сложение цветов. Этот экран иногда конструктивно удобно выполнять из матового стекла и рассматривать цветное изображение с противоположной от кинескопов стороны.

Частоты строчной и кадровой разверток электронного луча любой из трех передающих и трех приемных трубок равны соответствующим частотам в черно-белом телевидении. Следовательно, по этому признаку одновременная система оказывается совместимой, но по своему чрезмерно большому спектру ($F_{полн}$ = = 20 МГц) она несовместима. Однако ряд технических методов позволил сократить полосу передаваемых частот до стандартной (около 6 МГц) без ущерба для качества принимаемого изображения, т. е. сделать одновременную систему совместимой и по полосе частот. Далее мы рассмотрим эти методы.

Интересно представить себе, что будет воспроизводить черно-белый телевизор при приеме сигнала, созданного системой с одновременным сложением цветов. Селектор каналов и усилитель промежуточной частоты сигнала изображения (УПЧИ) рассчитаны на прохождение и усиление сигнала в полосе частот только около 6 МГц. Таким образом, используя регулятор частоты гетеродина в черно-белом приемнике, можно настроиться на пропускание и усиление любого из трех спектров цветных сигналов: F_R, F_G или F_B. На экране будет видно изображение любого из трех цветных компонентов (*R* или *G* или *B*), но только в черно-белом виде.

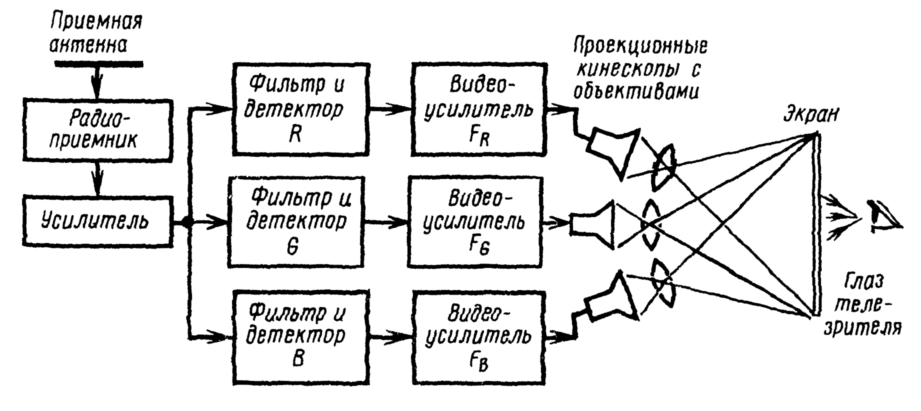


Рис. 2.9. Приемная часть упрощенного варианта телевизионной системы с одновременным сложением цветов

Глава третья. ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СИГНАЛОВ И ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СОВМЕСТИМЫХ СИСТЕМ ЦВЕТНОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ

Сигнал яркости

Из изложенного в предыдущей главе следует, что в структуре полного цветного телевизионного сигнала кроме сигналов цвета *(R, G, B)* должен содержаться также сигнал черно-белого телевидения. Этот сигнал, обозначаемый обычно буквами Y или E_Y и называемый сигналом яркости, необходим в первую очередь для репродукции изображения на экранах черно-белых телевизоров.

В соответствии с рис. 1.5 (точка E) и уравнением (1.5) сигнал яркости на передающей стороне цветного телевизионного тракта может быть схемным путем образован в виде алгебраической суммы:

$$E_Y = rE_R + gE_G + bE_B, \tag{3.1}$$

где E_R, E_G и E_B — единицы основных цветов (скажем, все равные 1В телевизионного сигнала), а r, g и b — трехцветные коэффициенты, определяющие относительное количество этих единичных цветов в единице сигнала яркости.

Следует подчеркнуть, что для сигнала яркости коэффициенты r, g и b в связи со свойствами зрения не равны между собой. Эти свойства иллюстрируются графиком кривой видности (рис. 1.1).

При приеме сигнала цветного телевидения на черно-белый телевизор мы, естественно, цветов не видим. Но, например, при передаче различных участков в изображении с различным цветом *(R, G, B)* и одинаковой мощностью их световой энергии, исходящей от объекта передачи, необходимо, чтобы яркость на черно-белом кинескопе в зависимости от цветового тона была неодинаковой в соответствии с кривой видности, т. е. 1 Вт зеленой лучистой энергии должен соответствовать на черно-белом экране большей яркости, чем для красной и тем более для синей лучистой энергии. Таким образом, хотя черно-белая картинка и не будет раскрашена, яркость ее отдельных участков должна различаться в соответствии с кривой видности. Выполнение этого условия приводит к большей естественности, разборчивости и выразительности изображения на черно-белом экране.

После многочисленных опытов и колориметрических расчетов специалисты единодушно пришли к следующему уравнению формирования сигнала яркости:

$$E_Y = 0{,}3\,E_R + 0{,}59\,E_G + 0{,}11\,E_B. \tag{3.2}$$

Такой сигнал на передающей стороне (на телецентре) формируется линейной электрической схемой, называемой матрицей.

Получение сигнала яркости E_Y поясняется рис. 3.1. Неокрашенный объект (например, газетный лист) используется для первоначальной регулировки усиле-

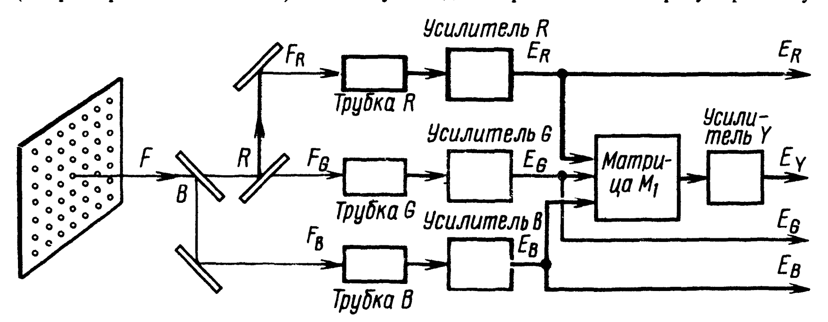


Рис. 3.1. Схема получения сигнала яркости E_Y

чия трех видеоусилителей передающей телевизионной камеры, содержащей три трубки R, B, Y. Такая регулировка необходима для подбора составляющих E_R, E_G и E_B, образующих бесцветный сигнал E_Y в необходимой пропорции.

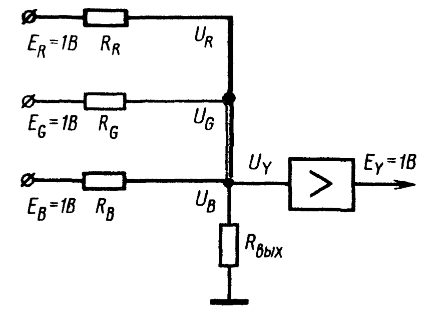


Рис. 3.2. Схема матрицы, формирующей сигнал яркости

Световой поток F, исходящий от объекта передачи, расщепляется дихроичными зеркалами на три потока основных цветов F_R, F_G и F_B, которые соответствующим образом попадают на фотомишени трех передающих трубок, создавая на этих мишенях оптическое изображение, соответствующее одному из основных цветов. В усилителях производится регулировка всех сигналов на одинаковый уровень (например, $E_R = E_G = E_B = 1$ В). Далее эти три сигнала подаются на матрицу M_1, где в соответствии с уравнением (3.2) формируется сигнал яркости E_Y.

Принцип действия матрицы поясняется устройством, содержащим четыре резистора (рис. 3.2). Для правильной, точной работы необходимо соблюдать условия:

$$R_R \gg R_{\text{вых}};\ R_G \gg R_{\text{вых}};\ R_B \gg R_{\text{вых}}. \qquad (3.3)$$

В этом случае взаимное влияние сигналов E_R, E_G и E_B на работу матрицы практически исключается.

В соответствии с (3.2) можно принять $R_R = 1/30$ МОм; $R_G = 1/59$ МОм; $R_B = 1/11$ МОм. Для соблюдения неравенств (3.3) примем $R_{\text{вых}} = 1$ кОм $= 10^{-3}$ МОм.

На резисторе $R_{\text{вых}}$ сумма сигналов составит

$$U_Y = U_R + U_G + U_B = \frac{R_{\text{вых}}}{R_R} E_R + \frac{R_{\text{вых}}}{R_G} E_G + \frac{R_{\text{вых}}}{R_B} E_B =$$
$$= 10^{-3} \cdot 30 \cdot 1\,\text{В} + 10^{-3} \cdot 59 \cdot 1\,\text{В} + 10^{-3} \cdot 11 \cdot 1\,\text{В} = 0{,}1\ \text{В}.$$

Для получения $E_Y = E_R = E_G = E_B = 1$ В необходимо, чтобы коэффициент усиления усилителя составил $K_Y = E_Y / U_Y = 1/0{,}1 = 10$.

Следует обратить внимание, что полный сигнал цветного телевидения, изображенный на рис. 3.1, содержит четыре составляющих E_Y, E_R, E_G, E_B вместо трех, как показано на рис. 2.8. Таким образом, введение в структуру спектра сигнала яркости E_Y в этом случае еще больше расширяет полосу частот (рис. 3.3*а*).

Для черно-белого телевидения принцип совместимости здесь, казалось бы, соблюдается. В самом деле, настроив черно-белый телевизор (при помощи гетеродина) на участок спектра сигнала E_Y (рис. 3.3*б*), получим нормальное изображение в необходимой полосе частот со стандартными строчной и кадровой развертками. Однако для цветного канала телевизионной связи несовместимость еще более усугубляется. Полная полоса частот $F_{\text{полн}} = 27$ МГц. При этом обращает на себя внимание следующее противоречие. Как излагалось ранее (см. гл. 1), цвет является трехмерной величиной (определяемой тремя основными цветами R, G

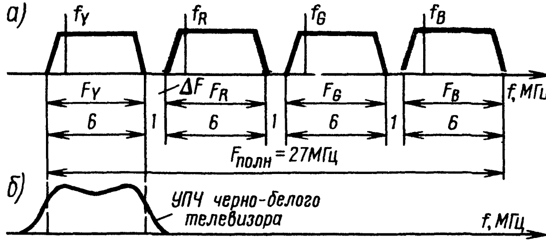


Рис. 3.3. Полный спектр сигнала в системе на рис. 3.1:
а — четыре составляющих полного спектра; *б* — настройка черно-белого телевизора на сигнал яркости

и B или тремя другими составляющими — яркостью, цветовым тоном и насыщенностью). А в системе на рис. 3.1 информация о цветном изображении передается четырьмя данными. В дальнейшем развитии цветного телевидения это несоответствие, эта избыточная информация была устранена исключением из передачи одного из сигналов цветности, обычно сигнала E_G. (Как будет видно из дальнейшего, этот сигнал имеет наибольшую полосу частот, и исключение из передачи именно его дает наибольшую экономию в ширине полного спектра.)

Три сигнала цветного телевидения

Итак, к цветным телевизорам доставляется информация только о трех составляющих E_Y, E_R, E_B. Но для нормальной работы цветного телевизора необходимо иметь и зеленую составляющую. Эта составляющая восстанавливается из трех указанных сигналов в соответствующей матрице, имеющейся в каждом цветном приемнике. В самом деле, на основании уравнения (3.2) можно записать:

$$E_G = \frac{1}{0{,}59}\,(E_Y - 0{,}3\,E_R - 0{,}11\,E_B). \tag{3.4}$$

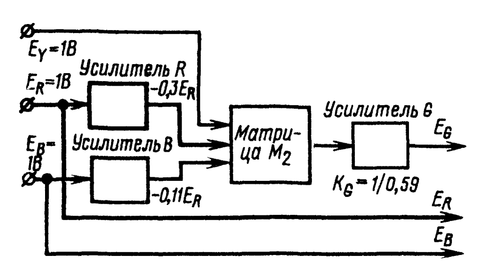


Рис. 3.4. Структурная схема получения сигнала E_G из трех сигналов E_Y, E_R и E_B

Структурная схема находящегося в цветном телевидении устройства получения из трех сигналов E_Y, E_R и E_B сигналов основных цветов E_R, E_G и E_B в одном из возможных вариантов показана на рис. 3.4. Фазоинверторы с делителями (усилители R и B) служат для поворота фазы сигналов E_R и E_B и уменьшения их размаха по сравнению с сигналом E_Y. Усилитель G в соответствии с выражением (3.4) должен иметь коэффициент усиления $K_G = 1/0{,}59 = 1{,}695$.

Нижняя и верхняя границы телевизионного спектра

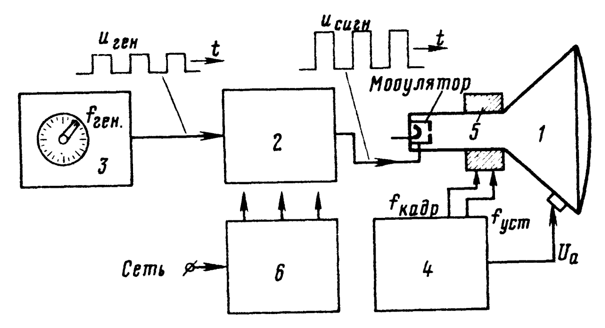
Телевизионный сигнал в отличие от других электрических сигналов связи и информации характеризуется тем, что его спектр частот во много раз превосходит спектры обычных сигналов. Это обстоятельство на протяжении всей истории телевизионной техники всегда затрудняло развитие телевидения, приводило к необходимости изыскивать довольно сложные и дорогостоящие технические средства и способы для успешного продвижения вперед этого вида вещания.

Спектр частот сигнала вещательного телевидения занимает обширную полосу от 50 Гц до 6 МГц. Спектр сигнала звукового вещания, например, составляет 30 Гц — 12 кГц, т. е. относительная разница в полосе частот будет $6\cdot 10^6\,(12\cdot 10^3) = 500$ раз!

Такой широкий спектр телевизионного сигнала затрудняет в первую очередь передачу этого сигнала по каналу связи в особенности на большие расстояния, делает невозможным использование хорошо разработанных средств связи, например средневолновых и коротковолновых передатчиков.

Отметим вместе с этим, что современное развитие радиотехники и радиоэлектроники позволит передавать передачи телевизионного вещания на значительные расстояния. Это известные методы связи через искусственные спутники Земли, радиорелейные каналы связи, кабельные линии и др. Однако поиски технических методов сужения полосы телевизионных частот не в ущерб, конечно, качеству изображения, остаются важной научно-инженерной проблемой в этой области техники. Особенно важное значение проблема сужения спектра приобрела в цветном телевидении (а также в вещательном стереоскопическом цветном телевидении).

Рис. 3.5. Структурная схема макета для исследования телевизионного спектра



Специалисты нашли и находят новые интересные и эффективные способы сокращения передаваемой телевизионной информации при приемлемом качестве изображения, и в первую очередь сокращения необходимой полосы частот. Для ознакомления читателя с такими способами целесообразно прежде всего напомнить причины значительной ширины спектра телевизионного сигнала, выяснить, чем определяются верхняя и нижняя границы этого спектра. Для наглядности и простоты изложения вопроса представим себе такую структурную схему экспериментального макета для исследования телевизионного спектра (рис. 3.5). Макет содержит кинескоп *1*, видеоусилитель *2*, генератор П-образных импульсов напряжения *3* с достаточно широким диапазоном регулировки их частоты, генераторы развертки *4*, отклоняющие устройства *5*, а также устройства питания *6* блоков макета.

Примем параметры развертки стандартными (ГОСТ 7845—72): частота развертки по полям $f_п = 50$ Гц, число строк разложения $z = 625$, частота строчной развертки $f_{стр} = 15\,625$ Гц.

Определим нижнюю границу телевизионного спектра. По шкале импульсного генератора выставим частоту колебаний, равную частоте полей, т. е. $f_{ген} = 50$ Гц, при этом на экране кинескопа увидим две неподвижные горизонтальные полосы — черную и белую (рис. 3.6). Эта частота $f_н = f_п = 50$ Гц и принимается в спектре вещательного телевидения самой нижней. Повышая частоту колебаний

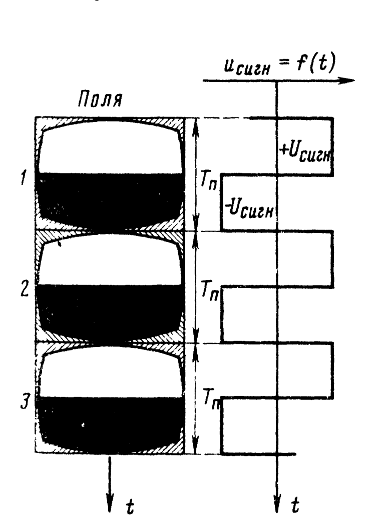


Рис. 3.6. Определение нижней границы телевизионного спектра

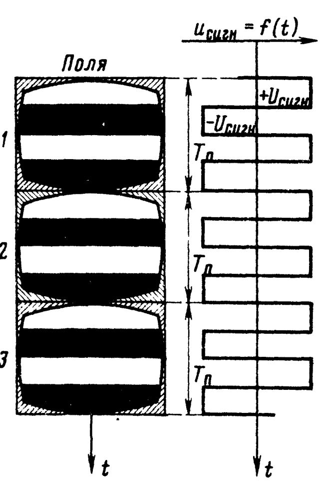


Рис. 3.7. Изображение на экране кинескопа при частоте импульсов, вдвое превышающей частоту вертикальной развертки

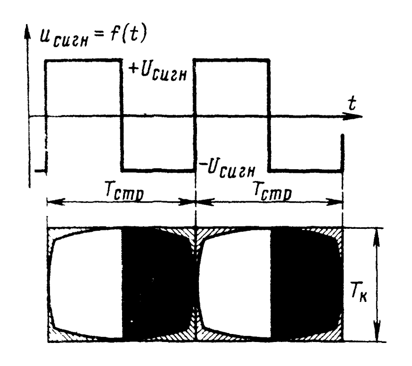


Рис. 3.8. Изображение на экране кинескопа при частоте импульсов, равной частоте строчной развертки

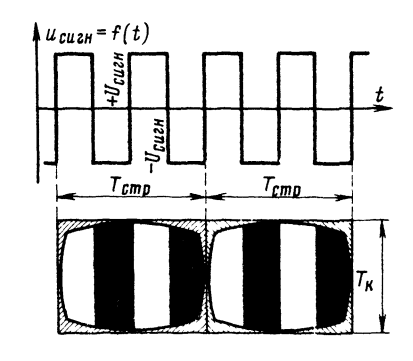


Рис. 3.9. Изображение на экране кинескопа при частоте импульсов, вдвое превышающей частоту строчной развертки

в генераторе *3* выше $f_п = 50$ Гц, мы сможем увидеть на экране кинескопа, например, две белые и две черные полосы ($f_{ген} = 2f_п = 100$ Гц, рис. 3.7). И вообще, при $f_{ген} = mf_п$, где m — целое число, на экране появляются m пар неподвижных горизонтальных черных и белых полос.

При частоте колебаний $f_{ген} = f_{стр} = 15\,625$ Гц (рис. 3.8) на экране появятся две вертикальные полосы — белая и черная, т. е. граница раздела из горизонтальной превратится в вертикальную.

Далее, например, при соотношении $f_{ген} = 2f_{стр} = 2 \cdot 15\,625 = 31\,250$ Гц на экране будут две вертикальные черные и две вертикальные белые полосы (рис. 3.9). При $f_{ген} = nf_{стр}$ (n — целое число), на экране образуется n пар черных и белых полос, расположенных вертикально. При дальнейшем увеличении частоты П-образных импульсов, получаемых от генератора *3*, в силу ограниченности разрешающей способности системы вертикальные узкие полоски на экране начнут сливаться, терять контрастность.

Отметим основные причины ограниченной разрешающей способности. Во-первых, любая схема (например, усилитель), через которую проходит телевизионный сигнал (в данном случае П-образные импульсы от генератора *3*), имеет ограниченную полосу частот. Например, усилитель *2* не в состоянии усиливать сигналы любой высокой частоты. Во-вторых, электронный луч кинескопа из-за апертурных искажений не в состоянии воспроизводить на экране сколь угодно тонкие и мелкие детали — штрихи и точки. Поясним это примером. Если мы хотим изобразить карандашом на бумаге тонкие штрихи, естественно, что карандаш надо заточить настолько тонко, чтобы диаметр его острия не превышал толщины прочерчиваемых штрихов. В примере с кинескопом диаметр электронного луча в месте его касания экрана (апертура луча) не должен быть больше толщины прочерчиваемых штрихов (и промежутков между ними).

Апертура луча d связана с числом строк разложения z. В нашем стандарте $z = 625$ строк. Это значит, что апертура $d \approx h/z = h/625$, где h — высота изображения. Для уменьшения апертурных искажений, т. е. для повышения разрешающей способности, следовало бы разработать электронную оптику, фокусирующую луч в кинескопе как можно более тонко. Однако такое решение не подходит, так как при $d < h/z$ между строками появятся неприятные темные промежутки.

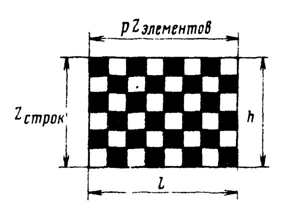


Рис. 3.10. Определение максимального количества мелких деталей на экране кинескопа

Приняв $d=h/z$, подсчитаем максимальное количество мельчайших черных деталей, разделяемых такими же по размеру белыми промежутками на экране кинескопа (рис. 3.10). По вертикали укладывается z элементов (z диаметров луча). По горизонтали располагается pz элементов, из которых $pz/2$ черных и $pz/2$ белых (p — формат кадра, по стандарту составляющий $p=l/h=4/3$, где l — ширина изображения; h — его высота). На всем изображении разместится $zpz/2=pz^2/2$ пар элементов. Число таких пар элементов, передаваемых в 1 с, составит $f_к pz^2/2$, где $f_к$ в данном случае составит 25 Гц, учитывая чересстрочную развертку.

Таким образом, за верхнюю границу телевизионного спектра можно было бы принять

$$f'_{верхн} = f_к pz^2/2. \qquad (3.5)$$

На практике верхняя граница телевизионного спектра может быть принята несколько ниже. Такое снижение определяется апертурными искажениями, ухудшением отношения сигнал/шум при передаче мелких деталей, разбросом параметров электронно-фокусирующих устройств в телевизионных трубках и др. Поэтому в формулу (3.4) для подсчета высокочастотной границы вводится практический коэффициент k, и она принимает вид

$$f'_{верхн} = k f_к pz^2/2, \qquad (3.6)$$

где $k=0{,}8\div0{,}9$.

Исходя из данных стандарта и приняв $k=0{,}9$, подсчитаем по формуле (3.5) верхнюю границу телевизионного спектра.

$$f'_{верхн} = 0{,}9\frac{25\cdot4\cdot625^2}{2\cdot3} \approx 6 \text{ МГц}.$$

Спектр частот мелких окрашенных деталей

Особенностью человеческого зрения является неразличимость или плохая различимость цветов мелких деталей изображения. Пусть, например, на листе ватмана нанесено множество узких одноцветных полосок на черном фоне. При наблюдении листа вблизи можно отчетливо видеть цвет этих полосок. Однако по мере удаления, когда в угловой мере ширина полосок становится все меньше, видимая цветовая насыщенность уменьшается. При достаточном удалении ватмана зритель не может определить цвет полосок и видимая насыщенность падает до нуля, полоски кажутся бесцветными на черном фоне.

Многократные опыты установили: при уменьшении размеров цветных полос или соответствующего увеличения их числа на единицу длины изображения наиболее быстро исчезает ощущение окраски синих полос. Для красных полос исчезновение их окраски наступает, когда их число на единицу длины будет больше в 2,5—3 раза по сравнению с синими. Цвет зеленых полосок, соответствующий наибольшей видности, будет сохраняться практически до предела разрешающей способности нормального человеческого зрения.

Применительно к цветному телевидению описанные опыты позволяют получить полезные количественные соотношения. Обратимся к макету, схема которого представлена на рис. 3.5. В этой схеме сделаем одну существенную замену — вместо черно-белого кинескопа будем использовать цветной. Зрителя расположим на удобном для наблюдения изображения расстоянии L. Обычно $L=(4\div5)\,h$, где h — высота экрана.

При желании в цветном телевизоре можно выключить два из трех электронных лучей кинескопа, получив таким образом любое из трех свечений люминофора (устройство и работа трехлучевого цветного кинескопа рассматриваются в гл. 4).

Первый опыт. Включим только «синий» луч. Подадим импульсное напряжение от генератора *3* на модулятор кинескопа. По мере увеличения частоты $f_{ген}$

синие полоски будут становиться все тоньше, а число их на длине строки — все больше. Наконец, наблюдатель отметит, что он потерял ощущение цвета и полоски ему уже кажутся бесцветными на темном фоне. Усредняя результаты эксперимента по возможно большему числу наблюдателей, можно установить по шкале генератора, что частота импульсов в случае снижения видимой насыщенности практически до нуля составит $f_{B\max} = 0{,}5 \div 0{,}6$ МГц.

Второй опыт. Включим только «красный» луч. Для красных полосок частота импульсов, при которой видимая насыщенность снижается до нуля, $f_{R\max} = 1{,}3 \div 1{,}5$ МГц.

Третий опыт. Зеленые полоски будут достаточно насыщенными до $f_{G\max} = 6$ МГц.

Третий опыт. Зеленые полоски будут достаточно насыщенными до $f_{g\ \max} = 6$ МГц.

На рис. 3.11, исходя из опытов, представлены графики зависимости видимой насыщенности цветных полосок от частоты сигнала, создающего эти полоски на экране. Графики на рис. 3.11 позволяют сделать важный вывод, что в цветном телевидении нет необходимости передавать в полной полосе все три цветовых сигнала. Передача в цветном виде точек, штрихов и полосок в изображении, для которых требуются высокочастотные составляющие телевизионного спектра (для синих мелких деталей — более 0,6 МГц, а для красных мелких деталей — более 1,5 МГц), является избыточной, так как зрение человека не в состоянии в обычных условиях различать цвет таких деталей. Это обстоятельство позволяет при передаче значительно сократить объем передаваемой информации.

Оценим выигрыш в полосе частот от ограничения передаваемой информации. Аналогично спектральным графикам на рис. 2.8 и 3.3, на рис. 3.12 представлен спектр сигнала в соответствии со свойствами зрения, показанными на рис. 3.11. В этом случае полная ширина спектра $F_{\text{полн}} = 6 + 1 + 1{,}5 + 1 + 0{,}5 = 10$ МГц, т. е. в два-три раза меньше, чем в случаях, представленных на рис. 2.8 и 3.3.

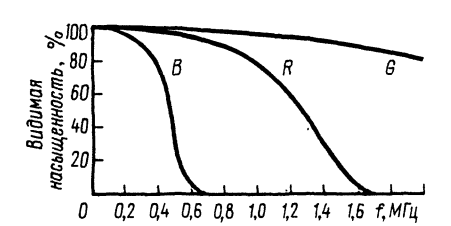


Рис. 3.11. Графики зависимости видимой насыщенности от размеров деталей и их цветов

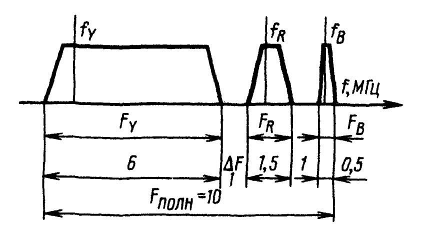


Рис. 3.12. Спектр частот полного сигнала с учетом возможности сужения спектральных составляющих сигналов E_R и E_B

Воспроизведение мелких деталей в телевизионном изображении необходимо в любой вещательной системе для получения важнейшего качества изображения — четкости. Не означает ли изложенное, что резкое сокращение спектра телевизионного сигнала на красных и синих участках приведет к резкому снижению четкости? Это не так, потому что сигнал яркости E_Y передается в полной полосе частот, т. е. содержит информацию о всех мелких деталях, которая и воспроизводится как на экранах черно-белых телевизоров, так и на цветных экранах в черно-белом виде.

Вспомним, как выглядят цветные рисунки (не фотографии) в журналах и книгах. Обычно в этих рисунках крупные, средние и не очень мелкие детали художник добросовестно раскрашивает. А вот тонкие штрихи (так называемый «абрис» — контур предмета), точки, узкие полоски и т. п. изображаются обычно в черно-белом виде. При этом рисунок остается цветным и вполне четким.

Линейчатость спектра телевизионного сигнала

Спектр телевизионного сигнала в отличие, например, от спектра звукового сигнала имеет важную особенность, использование которой дало специалистам возможность весьма существенно уплотнить в частотном отношении канал телевизионной связи и таким образом решить проблему полной совместимости цветного и черно-белого телевидения.

Как уже рассматривалось, спектр вещательного телевизионного сигнала составляет от 50 Гц до 6 МГц. Однако, как показали исследования, в указанных границах присутствуют не все частоты. Для неподвижного изображения (например, телевизионной испытательной таблицы) в спектре существуют только составляющие, являющиеся гармониками частот вертикальной и горизонтальной развертки. Других же частот в этом случае в спектре нет.

Это обстоятельство можно пояснить, пользуясь разложением периодической функции в ряд Фурье. На рис. 3.13 представлена в упрощенном виде фор-

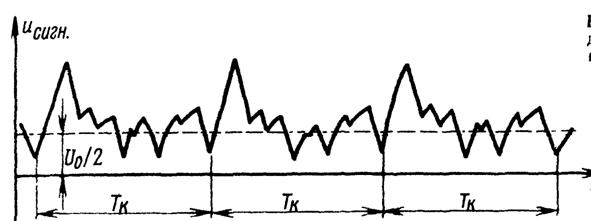


Рис. 3.13. Иллюстрация периодичности телевизионного сигнала

ма телевизионного сигнала для неподвижного изображения (без гасящих и синхронизирующих импульсов). Очевидно, что форма сигнала $u_{сигн}=f(t)$ будет повторяться с периодом, равным длительности вертикальной развертки.

Таким образом, ряд Фурье будет иметь вид

$$u_{сигн}(t) = U_0/2 + U_1 \sin(\omega_1 t+\varphi_1) + U_2 \sin(\omega_2 t+\varphi_2) + \ldots + \\ + U_n \sin(\omega_n t+\varphi_n) + \ldots, \quad (3.7)$$

где $U_0/2$ — постоянная составляющая сигнала, соответствующая средней яркости изображения; $\omega_n = 2\pi f_n = 2\pi f_1 n$ — круговая частота n-й гармоники; $f_1 = f_к$ — частота вертикальной развертки или частота первой гармоники ряда Фурье; φ_n — фаза n-й гармоники.

Таким образом, в соответствии с формулой (3.7) в случае неподвижного изображения в спектре отсутствуют составляющие, отличные от $f_n = f_к n$.

Пример 1. Телевизионный сигнал представляет собой последовательность П-образных импульсов с периодом следования, равным периоду вертикальной развертки. Как рассматривалось ранее, такой сигнал создаст изображение на экране кинескопа, состоящее из двух неподвижных горизонтальных полос — белой и черной (рис. 3.6). Формула разложения этого сигнала в ряд Фурье будет иметь вид

$$u_{сигн}(t) = \frac{2U_п}{\pi}\left(\sin\frac{2\pi}{T_п}t + \frac{1}{3}\sin 3\frac{2\pi}{T_п}t + \frac{1}{5}\sin\frac{2\pi}{T_п}t + \ldots\right), \quad (3.8)$$

т. е. оказывается, что П-образные импульсы (рис. 3.6) содержат только нечетные гармоники частоты $f_1 = f_п = 1/T_п$ (рис. 3.14). Все остальные частоты в спектре П-образных импульсов отсутствуют.

Пример 2. Телевизионный сигнал представляет собой «зубчатый» сигнал, в котором имеются четные и нечетные гармоники с периодом следования $T_{сигн} = T_к$ (рис. 3.15). Зубчатый сигнал представляется следующим рядом Фурье:

$$u_{сигн}(t) = \frac{2U_п}{\pi}\left(\sin\frac{2\pi}{T_п}t + \frac{1}{2}\sin 2\frac{2\pi}{T_п}t + \frac{1}{3}\sin 3\frac{2\pi}{T_п}t + \ldots\right). \quad (3.9)$$

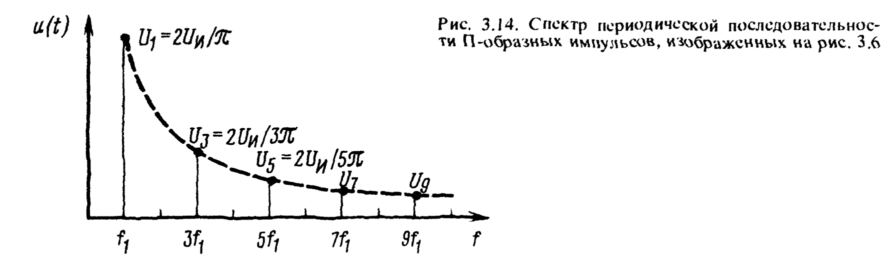


Рис. 3.14. Спектр периодической последовательности П-образных импульсов, изображенных на рис. 3.6

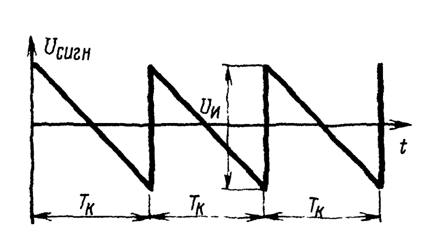


Рис. 3.15. График периодического зубчатого сигнала

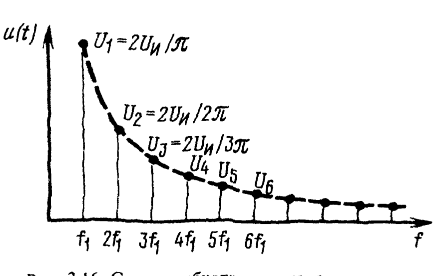


Рис. 3.16. Спектр зубчатого сигнала

Соответствующий график его спектра дан на рис. 3.16.

В общем виде спектральная картина для произвольного неподвижного изображения представлена рис. 3.17. Здесь обращает на себя внимание то обстоятельство, что на гармониках строчной частоты $f_{стр}$, $2f_{стр}$, $3f_{стр}$... имеет место увеличение амплитуд составляющих, а между этими составляющими энергия спектра довольно резко падает.

Спектральная картина для произвольно движущегося изображения в принципе останется подобной спектру, изображенному на рис. 3.17. Но в этом случае существует различие, заключающееся в том, что около каждой спектральной линии — гармоники — появляются «боковые» частоты — верхняя и нижняя. Аналогичная картина происходит в передатчике при модуляции несущей какими-либо сигналами, при этом «несущими» будут все гармонические составляющие телевизионного спектра, которые приобретут соответствующие боковые частоты (рис. 3.18).

Для разъяснения того факта, что в случае движущегося изображения (или отдельных его частей) вокруг каждой составляющей f_n спектра сигнала образуются верхние и нижние боковые частоты, обратимся к следующей простой модели сигнала. Пусть этот сигнал представляет собой узкий П-образный импульс с длительностью, равной, например, нескольким периодам строчной развертки, и периодом следования, близким (но не равным) периоду кадровой раз-

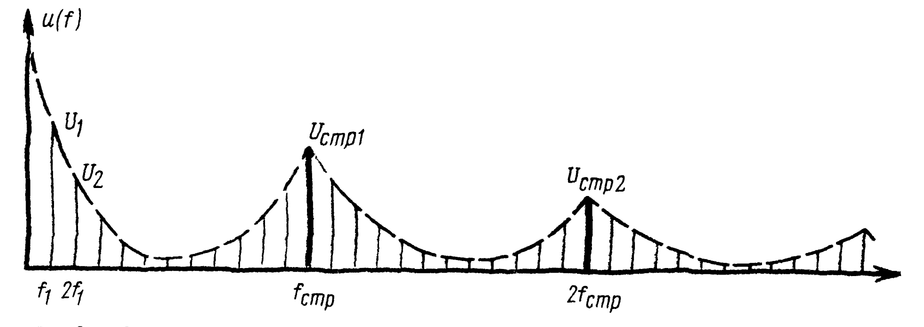


Рис. 3.17. Форма спектра телевизионного сигнала для неподвижного изображения

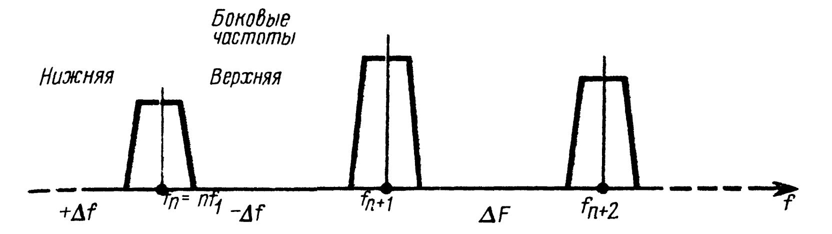


Рис. 3.18. Появление боковых частот около спектральных составляющих сигнала движущегося изображения

вертки (рис. 3.19). Разница между $T_и$ и $T_п$ вызовет на экране кинескопа зрительное ощущение движения узкой горизонтальной полоски вниз или вверх в зависимости от того, $T_и > T_п$ или $T_и < T_п$. Очевидно, что чем больше разница между $T_и$ и $T_п$, тем быстрее будет перемещаться полоска. Но телевидение, так же как кино, не в состоянии в своих изображениях передать очень быстрое движение. Да в этом для телезрителя нет практической необходимости.

Напомним, что в телевидении, так же как в кино, изображение передается последовательностью отдельных неподвижных кадров. Возьмем крайний случай — быстрое движение. На экране появился быстродвижущийся объект. Если этот объект настолько быстр, что следующий кадр его изображения мы не увидим (он уже ушел за кадр), то такое движение невозможно воспроизвести в слитном виде. Что же принять за предел скорости движущегося объекта на экране, когда глаза человека еще в состоянии увидеть, ощутить плавное естественное движение. На практике можно принять, что воспроизведение перемещения движущейся части изображения по всему экрану быстрее, чем примерно за 1/3 с, вряд ли целесообразно.

В этом случае, приняв ширину боковой полосы в спектре телевизионного сигнала для движущегося изображения $\Delta f = f_и - f_п \approx \pm 3$ Гц, получим $f_и = f_п \pm \Delta f = (47 \div 53)$ Гц. Конечно, движения могут быть и бывают более медленными. На рис. 3.18 нижние и верхние боковые частоты отстоят от своей гармоники — несущей — на ± 3 Гц и менее.

Какой же частотный промежуток остается между гармониками даже в случае быстрого движения? Возьмем в спектре две соседние гармоники с их боковыми частотами $f_n + \Delta f$ и $f_{n+1} - \Delta f$ (рис. 3.18) и определим промежуток ΔF: $\Delta F = (f_{n+1} - \Delta f) - (f_n + \Delta f) = [(n+1)f_1 - \Delta f] - [nf_1 + \Delta f] = f_1 - 2\Delta f = 50 - 6 = 44$ Гц.

Таким образом, в телевизионном спектре частотные составляющие сигнала занимают относительно небольшое место:

$$2\Delta f/(\Delta F + 2\Delta F) = G/(44+6) = 12\%!$$

Если бы удалось «сплюснуть» линейчатый спектр телевизионного сигнала, устранив в нем частотные пустоты, то можно было весьма существенно сэкономить в полосе частот. Такой сжатый спектр составил бы 6 МГц×0,12 = 720 кГц! Однако пока специалисты не находят технических средств для достижения этой цели

Рис. 3.19. Изображение в виде полосы, движущейся по вертикали

Уплотнение спектра телевизионного сигнала

Во всех современных совместимых системах вещательного телевидения с успехом используется метод взаимного уплотнения сигналов цветности и яркости за счет линейчатости спектра. Как показано на рис. 3.18, между отдельными составляющими спектра телевизионного сигнала существуют относительно большие пустующие промежутки ΔF. Отсюда возникает идея заполнения этих промежутков спектральными составляющими дополнительных сигналов.

В цветном вещательном телевидении сигнал яркости E_Y передается в полной полосе частот. Его целесообразно уплотнить, поместив в его спектральные промежутки составляющие сигналов цвета E_R и E_B. Эти, тоже линейчатые, сигналы имеют существенно меньшую по сравнению с сигналом E_Y полосу частот(рис. 3.11), и поэтому они могут разместиться внутри спектра E_Y, не выходя за его пределы. Так осуществляется передача всех трех сигналов цветного телевидения в спектре частот стандартного черно-белого телевидения и решается проблема совместимости.

Из изложенного должно быть ясно, почему в качестве сигнала цвета используется пара E_R и E_B. Другая пара, содержащая сигнал E_G (т. е. E_G и E_B или E_G и E_R), была бы непригодна, так как сигнал E_G имеет широкую полосу частот (см. рис. 3.11) и пара, содержащая этот сигнал, не поместится внутри спектра сигнала E_Y.

На рис. 3.20 показан принцип частотного уплотнения сигнала яркости E_Y сигналом E_B (для простоты на этом рисунке используется только один цветовой сигнал). На вход *Вх1* модулятора поступает цветовой сигнал E_B, имеющий полосу частот 50 Гц — 0,6 МГц (рис. 3.20*а*, *б*). На вход *Вх2* подается синусоидальное напряжение $u_{цв}$ от генератора поднесущей. Частота поднесущей $f_{цв}$ должна быть выбрана так, чтобы она являлась среднеарифметической двух соседних гармоник спектра сигнала яркости E_Y, т. е.

$$f_{цв} = (f_n + f_{n+1})/2. \qquad (3.10)$$

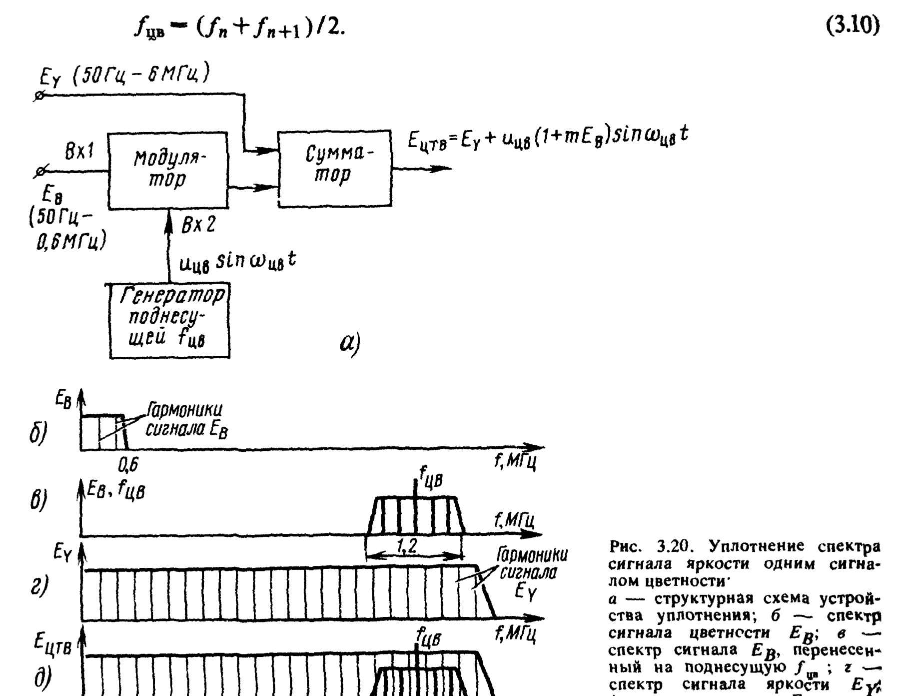


Рис. 3.20. Уплотнение спектра сигнала яркости одним сигналом цветности:
а — структурная схема устройства уплотнения; *б* — спектр сигнала цветности E_B; *в* — спектр сигнала E_B, перенесенный на поднесущую $f_{цв}$; *г* — спектр сигнала яркости E_Y; *д* — спектр сигнала E_Y, уплотненный спектром сигнала E_B

В модуляторе осуществляется перенос спектра цветовых сигналов (в нашем примере E_B) на поднесущую (рис. 3.20*в*). Далее в сумматоре происходит сложение сигнала яркости E_Y, имеющего спектр 50 Гц — 6 МГц (рис. 3.20*г*), с перенесенным по частотной шкале сигналом E_B (рис. 3.20*д*). Очевидно, что соблюдение условия (3.10) обеспечивает расположение поднесущей $f_{цв}$, а также всех гармоник цветового сигнала E_B в промежутках между гармониками сигнала яркости E_Y.

Подставив в (3.10) значения $f_n = nf_1$, $f_{n+1} = (n+1)f_1$, получим

$$f_{цв} = (2n+1) f_1/2 = (2n+1) f_к/2. \quad (3.11)$$

В соответствии с (3.11) $f_{цв}$ называется нечетной полугармоникой частоты полей.

Полный (уплотненный) сигнал цветного телевидения (рис. 3.20*д*) подается затем на модулятор телевизионного радиопередатчика и излучается антенной в эфир. Черно-белый телевизор принимает этот сигнал. В таком телевизоре сигнал проходит обычные блоки: УВЧ, УПЧ, детектор, видеоусилитель. После преобразования и усилений сигнал подается на модулятор черно-белого кинескопа.

Сигнал яркости на рис. 3.20*д* отличается от обычного черно-белого сигнала наличием внутри его спектра дополнительных составляющих цветовых сигналов. Возникает вопрос, не вызовут ли эти излишние для черно-белого телевизора сигналы каких-нибудь неприятных помех на экране кинескопа? Разберем случай, когда в низкочастотной части спектра сигнала яркости в середине между первой и второй гармониками $f_п$ и $2f_п$ появилась дополнительная составляющая

$$f_{доп} = (f_п + 2f_п)/2 = 3/2 f_п = 3 \cdot 50/2 = 75 \text{ Гц}.$$

Воздействие этой помехи поясняется рис. 3.21. Так как $f_{доп}$ является нечетной полугармоникой частоты полей, на периоде поля $T_п$ всегда укладывается нечетное число полупериодов этого напряжения. Таким образом, светлые и темные участки на экране, вызываемые этим колебанием, будут чередоваться в соседних полях. В итоге за счет послесвечения экрана и инерционности зрения следует ожидать компенсации помехи на изображении.

Это же явление имеет место и для всех других нечетных полугармоник частоты полей (на рис. 3.20*д* цветовых сигналов). На рис. 3.22 приведен пример изображения черно-белых клеток с распределением, аналогичным шахматной доске, создаваемого на экране черно-белого телевизора нечетными полугармониками. От поля к полю полярность сигнала меняется. За два периода полей следует ждать усреднения, т. е. видимого исчезновения этого изображения.

Однако одно существенное обстоятельство снижает рассмотренный эффект компенсации помех, вызываемых напряжениями нечетных полугармоник частоты полей. Обратившись, например, к рис. 3.21, мы видим, что период появления ложных изображений $T_{ложн} = 2T_п$ и соответствующая частота мельканий этих изображений будет низкой: $f_{ложн} = 1/T_{ложн} = 1/2T_п = 25$ Гц; $f_{ложн}$ сказывается существенно ниже критической частоты мельканий. Критической частотой мельканий называется частота, при которой (и выше которой) мелькающий источник света кажется светящимся непрерывно. Для телевизионного экрана $F_{кр} = 40 \div 50$ Гц. Это обстоятельство приведет к заметному мельканию помехи. Заметность мельканий зависит от размеров мелькающего источника, и это мелькание тем заметнее, чем больше размеры мелькающего источника. Поэтому мелькания будут особенно заметны на крупных деталях. Мелькания мелких деталей будут терпимыми. Это объясняет, почему поднесущую

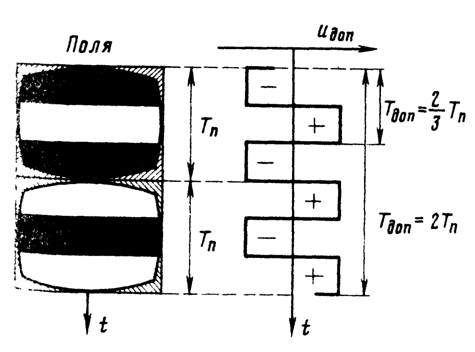


Рис. 3.21. Вид помехи на экране телевизора от нечетной полугармоники частоты вертикальной развертки

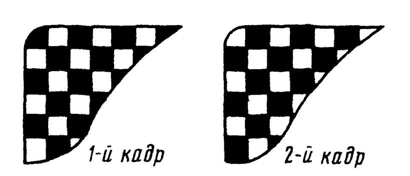


Рис. 3.22. Вид помехи на экране телевизора от нечетной полугармоники, соответствующей мелким деталям

сигналов цветности (рис. 3.20 *г*, *д*) помещают в область, близкую к высокочастотной границе спектра сигнала E_Y. Создаваемые поднесущей и составляющими сигналов цветности мелкоструктурные помехи будут менее заметны.

На рис. 3.20 показано уплотнение спектра сигнала яркости на примере только одного цветового сигнала. Для передачи двух сигналов с уплотнением сигнала E_Y можно выбрать две разные поднесущие: $f_{цвR}$ и $f_{цвB}$. На рис. 3.23 показано, что для экономии в полосе частот сигнал яркости и цветовые сигналы передаются с частично подавленной одной боковой полосой.

Уплотнение спектра сигнала яркости двумя цветовыми сигналами на двух поднесущих (рис. 3.23) имеет существенные недостатки. Во-первых, составляющие цветового сигнала E_R подходят слишком близко к низкочастотным составляющим сигнала яркости и образуемые ими мелькающие помехи будут нетерпимы. Во-вторых, наличие двух поднесущих $f_{цвR}$ и $f_{цвB}$ создает на изображении множество интерференционных помех, являющихся следствием биений между частотами $f_{цвR}$, $f_{цвB}$, $f_{изобр}$, $f_{зв}$ и их гармониками. Число и интенсивность таких помех резко снижается, если в обоих сигналах цветности одновременно используется только одна поднесущая.

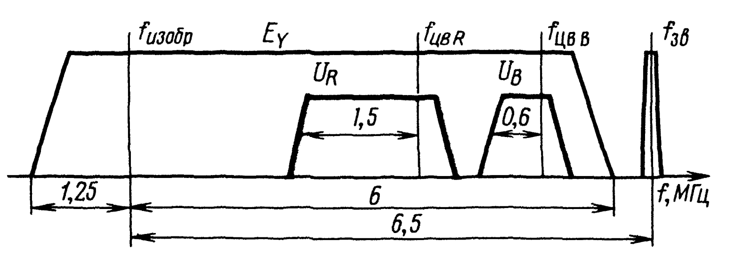


Рис. 3.23. Уплотнение сигнала яркости сигналами цветности

Современные способы экономной передачи двух цветовых сигналов подробно рассматриваются далее.

Цветоразностные сигналы

Во всех стандартных системах цветного телевидения вместо сигналов основных цветов E_R и E_B используются так называемые цветоразностные сигналы (их обозначают *R—Y*, *B—Y* или $E_{R—Y}$, $E_{B—Y}$). Применение этих сигналов существенно снижает заметность помех от цветовых сигналов на экране как черно-белого, так и цветного телевизоров.

На рис. 3.24 представлена упрощенная структурная схема формирования на передающей стороне сигнала яркости $E_Y = 0{,}3E_R + 0{,}59E_G + 0{,}11E_B$ и цветоразностных сигналов $E_{R—Y} = E_R - E_Y$ и $E_{B—Y} = E_B - E_Y$. В камере цветного телевидения, содержащей три передающие трубки, формируются три основных цветовых сигнала E_R, E_G и E_B. Эти сигналы поступают в матрицу *M*, на выходе которой образуются три сигнала E_Y, $E_{R—Y}$ и $E_{B—Y}$. Сигнал яркости E_Y занимает полную полосу частот от 50 Гц до 6,5 МГц. Спектры цветоразностных сигналов $E_{R—Y}$ и $E_{B—Y}$ ограничиваются сверху фильтрами $Ф_{R—Y}$ и $Ф_{B—Y}$ для дальнейшего уплотнения этими сигналами яркости. В системе SECAM, например, спектр этих двух цветоразностных сигналов выбирается от 50 Гц до 1,5 МГц для каждого. Затем производится частотное уплотнение сигнала яркости цветоразностными сигналами.

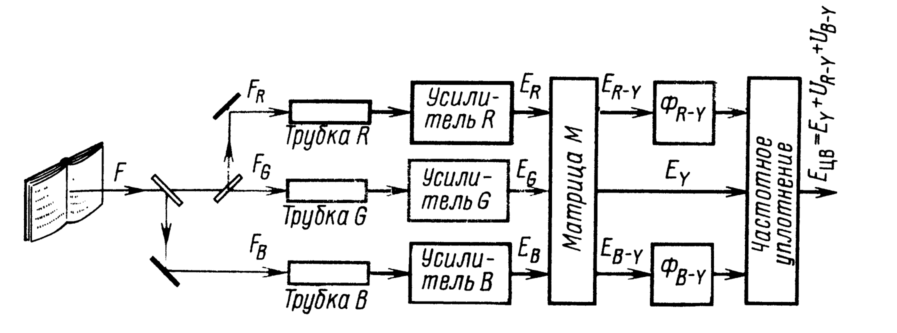


Рис. 3.24. Структурная схема формирования сигнала яркости и двух цветоразностных сигналов

Принцип работы матричной схемы, состоящей фактически из трех матриц, показан на упрощенной схеме на рис. 3.25. На входы R, G и B подаются сигналы E_R, E_G и E_B. Группа резисторов R_2, R_4, R_5 и R_6 образует формирователь сигнала яркости E_Y в соответствии с (3.2). Фазоинвертор *ФИ* изменяет полярность сигнала E_Y. Формирователь R_1, R_7, R_9 создает цветоразностный сигнал $E_{R—Y}$, а формирователь R_3, R_8, R_{10} — цветоразностный сигнал $E_{B—Y}$.

Поясним, почему цветоразностные сигналы уменьшают помехи на изображении. Возьмем простой случай — объект передачи не окрашен (например, черно-белая страница книги, рис. 3.24). Световой поток F, исходящий от объекта, светоделительной оптикой расщепляется на три окрашенных потока F_R, F_G и F_B. Регулировкой усиления в усилителях устанавливается равенство всех трех сигналов, например $E_R=E_G=E_B=1$В. В этом случае для черно-белого изображения сигнал яркости также будет равен единице: $E_Y=0{,}3\cdot 1+0{,}59\cdot 1+0{,}11\cdot 1=1$ В. Поэтому для неокрашенного изображения цветоразностные сигналы $E_{R—Y}=E_R-E_Y=1-1=0$. Соответственно $E_B-E_Y=0$.

Так исключаются помехи от цветоразностных сигналов на черно-белых изображениях. Кроме того, на участках изображения с малой насыщенностью помехи от цветоразностных сигналов также оказываются незначительными. Возьмем, например, светло-розовый участок изображения (окраска — белая с небольшой добавкой красного). Для него можно записать следующую группу трех сигналов на выходе матрицы (рис. 3.1): E_R, E_G, $E_R+\Delta E_R$. Сигналы $E_R=E_G=E_B=1$В, а дополнительный сигнал красной подсветки ΔE_R составляет, например, 0,1 В. В этом случае сигнал яркости $E_Y=0{,}3\,(E_R+\Delta E_R)+0{,}59E_G+0{,}11E_B=0{,}3\cdot 1+0{,}3\cdot 0{,}1+0{,}59\cdot 1+0{,}11\cdot 1=1{,}03$ В, т. е. цветоразностные сигналы в нашем примере составят незначительную величину — 7 и 3% от сигнала яркости: $E_{R—Y}=(E_R+\Delta E_R)-E_Y=1+0{,}1-1{,}03=0{,}07$ В; $E_{B—Y}=E_B-E_Y=1-1{,}03=-0{,}03$В.

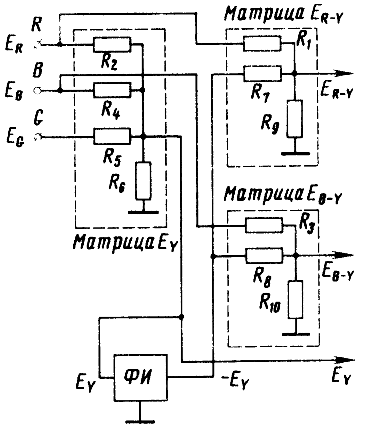


Рис. 3.25. Упрощенная схема матрицы, формирующей сигналы E_Y, $E_{B—Y}$, $E_{R—Y}$

На насыщенных участках изображения цветоразностные сигналы оказываются, естественно, большими. Возьмем, например, ярко-красный лист бумаги (насыщенность близка к 100%). В этом случае $E_R=1$ В, $E_G=0$, $E_B=0$. Сигнал яркости $E_Y=0{,}3\cdot 1+0{,}59\cdot 0+0{,}11\cdot 0=0{,}3$ В. Цветоразностные сигналы $E_{R—Y}=1-0{,}3=0{,}7$ В, $E_{B—Y}=0-0{,}3=-0{,}3$ В. Здесь цветоразностный сигнал $E_{R—Y}$ превышает сигнал яркости в $0{,}7/0{,}3=2{,}3$ раза, а сигнал $E_{B—Y}$ равен (по абсолютному значению) сигналу яркости.

На практике в реальных передачах цвет-

ных изображений участки с высокой цветовой насыщенностью встречаются сравнительно редко — в 20—25% случаев. Поэтому замена сигналов E_R и E_B на сигналы E_{R-Y} и E_{B-Y} оказывается очень эффективной в смысле защиты изображений от помех, вызываемых сигналами цветности.

Структурная схема совместимой системы цветного телевидения

В системах цветного телевидения NTSC, PAL, SECAM используется группа из трех сигналов: сигнала яркости и двух цветоразностных. В системе NTSC два цветоразностных сигнала, обозначаемых буквами I и Q, отличаются от сигналов E_{R-Y} и E_{B-Y}. Во всех этих системах применяется метод частотного уплотнения сигнала яркости двумя сигналами цветности. Причем спектры сигналов цветности переносятся на поднесущую в область, расположенную ближе к высокочастотной части спектра сигнала E_Y. Во всех системах на передающей и приемной сторонах используются аналогичные преобразователи «изображение-сигнал» и «сигнал-изображение». Другими словами, передающие камеры цветного телевидения на телецентре и цветные кинескопы в телевизорах в принципе ничем не различаются во всех системах.

Но, собственно, на этом и заканчивается в основном сходство всех трех цветных телевизионных систем. Важным и принципиальным различием в системах являются методы передачи сигналов цветности.

Технические трудности передачи двух сигналов цветности заключаюся в необходимости их размещения внутри спектра частот сигнала яркости без выхода за пределы этого спектра и получения достаточно высококачественного изображения на экране как черно-белого, так и цветного телевизоров.

В системе цветного телевидения NTSC и ее разновидности PAL передача двух сигналов цветности осуществляется с помощью одновременной модуляции цветовой поднесущей как по амплитуде, так и по фазе (так называемая квадратурная модуляция). В советско-французской системе SECAM используется метод поочередной передачи цветоразностных сигналов с периодом чередования, равным периоду строчной развертки. В этой системе применяется частотная модуляция поднесущей чередующимися сигналами цветности.

Улучшение качества цветного изображения, ослабление помех, например, от поднесущей осуществляется в разных системах по-разному. В системе NTSC поднесущая подавляется методом балансной модуляции. В системе SECAM поднесущая подавляется специальным фильтром.

На рис. 3.26 представлены структурные схемы передающей и приемной аппаратуры безотносительно к конкретной системе цветного телевидения. На этих схемах не представлены блоки, характерные для той или иной системы вещательного телевидения. Таким образом, узлы и блоки, изображенные на рис. 3.26, используются и необходимы для всех систем.

Передающая аппаратура (рис. 3.26*а*). Световой поток F, исходящий от объекта передачи, разделяется при помощи светоразделительной оптики на три световых потока E_R, F_G и F_B, соответствующих числу передающих трубок. Телевизионные сигналы, образуемые этими трубками, усиливаются в усилителях *R, G, B*.

Затем три сигнала E_R, E_G и E_B поступают на входы матрицы M_1, на выходе которой создаются сигнал яркости E_Y и цветоразностные сигналы E_{R-Y}, E_{B-Y}.

Сигнал яркости передается в полной полосе частот (50 Гц — 6 МГц). Спектр же цветоразностных сигналов для соблюдения условий совместимости должен быть сокращен. Фильтры ограничивают эти спектры сверху (например, в системе SECAM до 1,5 МГц)[1].

Цветоразностные сигналы с ограниченным спектром подаются на входы модулятора. Туда же от генератора поднесущей поступает синусоидальное напряжение поднесущей $f_{цв}$. В модуляторе происходит модуляция поднесущей сигналами E_{R-Y} и E_{B-Y}, что приводит к переносу их спектра в область, соответствую-

[1] Основываясь на рис. 3.11, спектр цветоразностного сигнала E_{B-Y} можно было бы сократить еще более (до 0,5 МГц). Однако такое сокращение в системе SECAM, в которой оба цветоразностных сигнала передаются поочередно, не даст видимого выигрыша в сокращении пропускной способности канала, а приведет только к усложнению передающей и приемной аппаратуры.

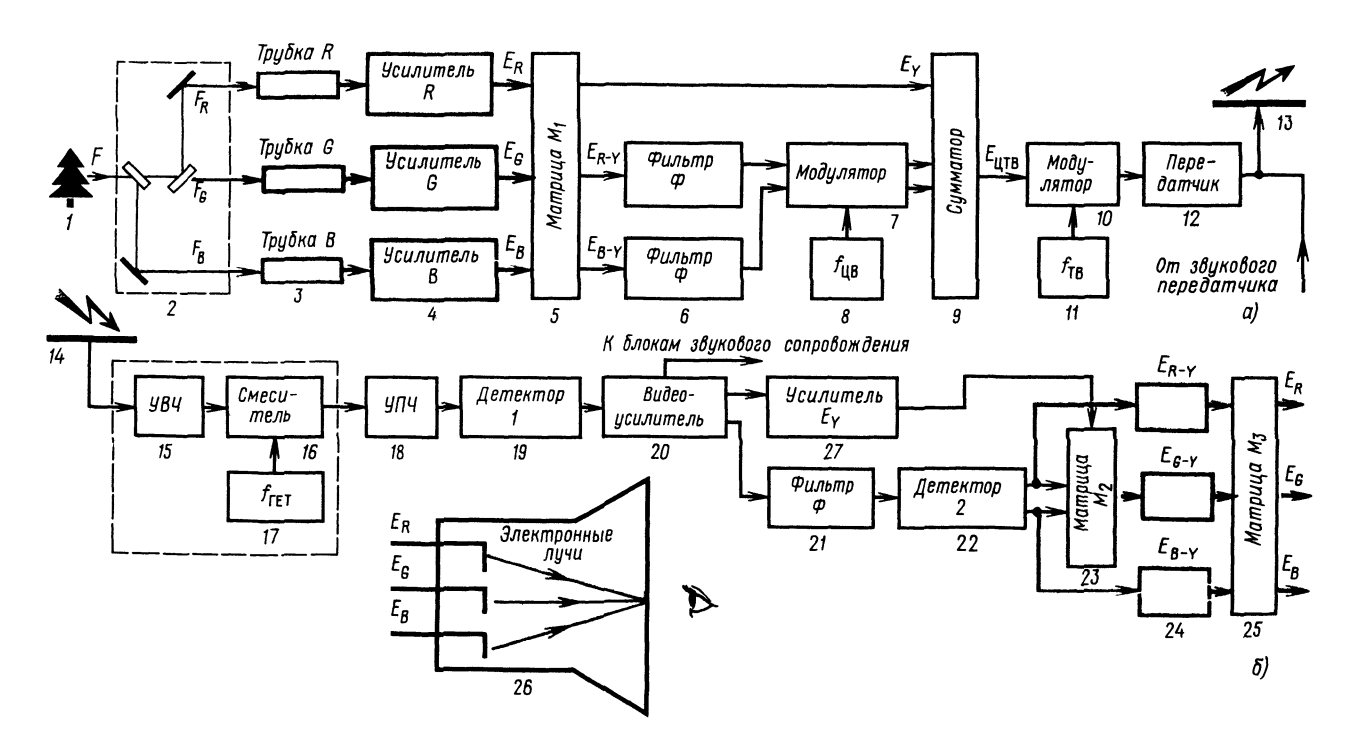


Рис 3 26 Структурные схемы совместимой системы цветного телевидения
а — передающее устройство, б — приемное устройство

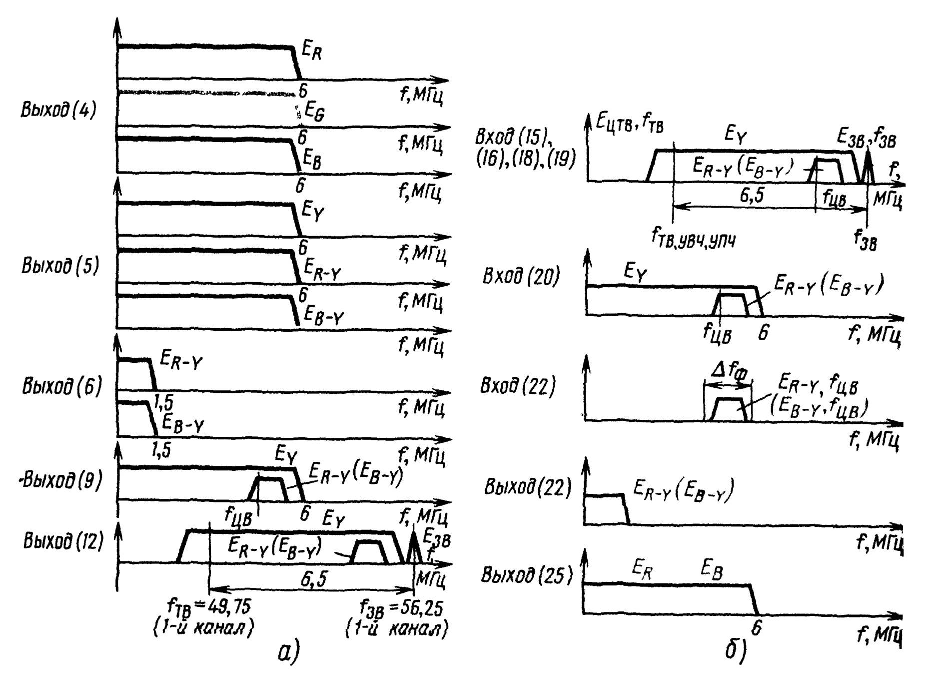


Рис. 3.27. Спектральные графики сигналов для характерных точек структурных схем на рис. 3.26:
а — передающее устройство; *б* — приемное устройство

щую высокочастотной части сигнала E_Y. В сумматоре осуществляется сложение сигнала яркости с перенесенными по спектру цветоразностными сигналами. Такой сигнал $E_{цв\ B} = E_Y + E_{R-Y}(f_{цв}) + E_{B-Y}(f_{цв})$ готов для передачи в эфир. Этот сигнал подается далее на модулятор радиопередатчика. С помощью напряжения несущей $f_{тв}$ полный сигнал $E_{цв}$ переносится в заданный частотный канал, отводимый для вещательного телевидения. Антенна радиопередатчика излучает программу данного телевизионного канала в эфир.

На рис. 3.27*а* представлены частотные спектры сигналов для характерных точек структурной схемы на рис. 3.26*а*.

Приемная аппаратура (рис. 3.26*б*). Современные телевизоры построены по супергетеродинной схеме. Телевизионный сигнал, принятый антенной, поступает на УВЧ, затем на смеситель. В смесителе с помощью гетеродина образуется сигнал ПЧ, который усиливается в блоке УПЧ.

Усилитель высокой частоты, смеситель и гетеродин образуют селектор каналов, в котором кроме преобразования ВЧ в ПЧ осуществляется также переключение телевизионных каналов (программ). Усилитель промежуточной частоты является основным усилителем в приемнике, определяющим его селективность по соседнему каналу.

После амплитудного детектора осуществляется дополнительное усиление в видеоусилителе. Напомним, что во всех системах как черно-белого, так и цветного вещательного телевидения используется амплитудная модуляция напряжения несущей телевизионным сигналом. Видеоусилитель имеет два выхода. Один соединен с дополнительным усилителем сигнала яркости E_Y (если такое усиление необходимо). С другого выхода сигнал подается на полосовые фильтры, где выделяется только та часть спектра полного сигнала, в которой содержатся сигналы цветности E_{R-Y} и E_{B-Y}. Детектор 2 сигналов цветности восстанавливает частотное расположение этих сигналов в полосе 50 Гц — 1,5 МГц, т. е. на выходе детектора 2 вновь образуются цветоразностные сигналы E_{R-Y} и E_{B-Y}.

Для нормальной работы цветного кинескопа необходимо теперь получить третий цветоразностный сигнал E_{G-Y}. Это происходит в матрице M_2. На ее вход подаются сигналы E_{R-Y} и E_{B-Y}, а на выходе образуется сигнал E_{G-Y} в соответствии с уравнением

$$E_{G-Y} = -0{,}51\,E_{R-Y} - 0{,}19\,E_{B-Y}. \qquad (3.12)$$

Далее все три цветоразностных сигнала усиливаются до значений, необходимых для модуляции электронных лучей цветного кинескопа.

В цветном телевизоре для управления (модуляции) его тремя электронными лучами необходимо преобразовать цветоразностные сигналы E_{R-Y}, E_{G-Y} и E_{B-Y} в сигналы E_R, E_G и E_B. Такое преобразование можно осуществить двумя способами. На рис. 3.26*б* для этого включена матрица M_3, которая из четырех сигналов E_Y, E_{R-Y}, E_{G-Y} и E_{B-Y} создает сигналы E_R, E_G и E_B, поступающие затем на соответствующие модуляторы цветного кинескопа. В цветных телевизорах широко применяется также способ, когда на соединенные катоды подается сигнал яркости E_Y, а на отдельные модуляторы — цветоразностные сигналы E_{R-Y}, E_{G-Y} и E_{B-Y}.

На рис. 3.27*б* представлены частотные спектры сигналов для характерных точек структурной схемы на рис. 3.26*б*.

Глава четвертая. КИНЕСКОПЫ ЦВЕТНОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ

Сложение изображений, получаемых от трех кинескопов

В процессе создания совместимой системы цветного телевидения возникла проблема разработки оконечного приемного устройства, способного одновременно воспроизводить точно совмещенные на одном экране все три цветных изображения — красное, зеленое и синее. Первые устройства содержали три кинескопа, каждый из которых воспроизводил одно из трех цветных изображений. Далее стояла задача оптически совместить эти изображения в одно многоцветное.

Более двух десятков лет тому назад было разработано проекционное приемное устройство, содержащее три кинескопа и создающее цветное изображение размерами около 1 м². Аппарат представлял собой довольно объемистую тумбу, внутри которой кроме других необходимых блоков находились три одноцветных проекционных кинескопа, снабженных соответствующей проекционной оптикой. На расстоянии нескольких метров от этой тумбы располагался специальный экран, обладающий направленным отражением света. Разноцветные изображения *R, G, B* от кинескопов проектировались на экран (рис. 4.1*а,б*). Направленное отражение света позволило существенно повысить яркость изображения за счет сокращения угла поля зрения Θ, в котором могли находиться телезрители.

При вполне приемлемом качестве цветного телевизионного изображения (хорошее совмещение цветов, удовлетворительная четкость и яркость) это устройство обладает существенными эксплуатационными и конструктивными недостатками, что привело к отказу от его использования в вещательном телевидении. Во-первых, тумба с аппаратурой должна находиться посреди относительно большой комнаты, что неудобно, естественно, в бытовом отношении. Во-вторых, во время эксплуатации возникают трудности при самостоятельном обслуживании и регулировании аппаратуры установки. Для этого по крайней мере потребуется дежурный техник. В-третьих, два из трех проекционных устройств «кинескоп — оптика» находятся под углом α к оси симметрии ZZ' (рис. 4.1*в*). Это обстоятельство, без принятия специальных технических мер, приводит к геометрическому рассогласованию трех изображений на экране. Для коррекции этого рассогласования пришлось разработать специальные генераторы развертки, компенсирующие геометрические искажения «крайних» изображений. Компенсация заключалась в создании на экранах крайних кинескопов трапециевидного растра, обратного по форме трапециевидному растру на большом экране. Необходимость такой коррекции значительно усложнила схемы генераторов развертки, потребовала от них высокой точности и надежности работы.

Рис 4 1 Проекционное устройство

а — вид сбоку, *б* — вид сверху, *в* — иллюстрация геометрического рассогласования изображений

Радиотехнической промышленностью разработано устройство для наблюдения цветного изображения без применения проекционной оптики. В этом устройстве содержится три кинескопа, экраны которых светятся тремя разными основными цветами (рис. 4.2). Два полупрозрачных зеркала часть светового потока отражают, а часть пропускают. К наблюдателю направляется сумма световых потоков F_R, F_G и F_B, создающая впечатление многоцветного изображения. Такое устройство, имеющее относительно небольшие габариты (определяемые в основном размерами кинескопов), имеют, к сожалению, существенный недостаток. При приемлемом качестве изображения глаза телезрителя должны находиться примерно на оси ZZ'. Изображение сбоку не дает возможности наблюдать хорошо геометрически согла-

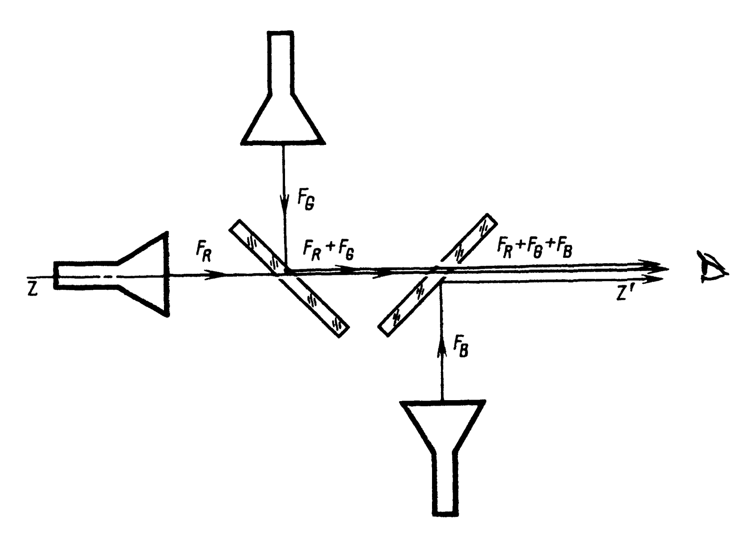


Рис 4 2 Устройство для наблюдения цветного телевизионного изображения

сованное в отношении цветов изображение. Кроме того, необходимость обеспечения питания сразу трех приемных трубок в одном телевизоре (включая, конечно, подачу токов развертки) значительно усложняет схему устройства.

Трехлучевой масочный кинескоп

Наиболее широко распространенным в приемниках цветного телевидения в наши дни является *трехлучевой кинескоп с теневой (цветоделительной) маской.* Рассмотрим устройство и работу этого прибора. Упрощенный эскиз и схема прибора даны на рис. 4.3. В колбе кинескопа, сохранившей в основном конфигурацию колбы черно-белого кинескопа, располагаются три электронных прожектора *1*, формирующих три электронных луча *2* в соответствии с тремя основными цветами *R, G* и *B.* В состав каждого прожектора входят подогреватель *3*, катод *4*, модулятор (управляющий электрод) *5*, ускоряющий электрод *6*, фокусирующий электрод *7*, анод *8*.

Общей для всех трех лучей является отклоняющая система *9*, содержащая две строчных и две кадровых отклоняющих катушки. Блок полюсных наконечников *10* является частью системы радиального сведения лучей, работу которой мы рассмотрим далее.

Катоды, модуляторы, ускоряющие электроды каждого прожектора имеют независимые выводы на цоколе кинескопа. Все три фокусирующих электрода соединены внутри колбы вместе и имеют общий вывод на цоколе трубки. Анод является также общим для всех прожекторов. Он состоит из графитового покрытия на стекле колбы внутри раструба и передней части горловины, а также соединенных с этим покрытием трех цилиндров *а, б* и *в*.

Экран кинескопа *12* состоит из отдельных точек (элементов) трех видов. Точки одной группы способны при бомбардировке электронами светиться красным светом, точки другой — зеленым, а третьей — синим. В отечественном телевидении число элементов разложения составляет около полумиллиона. Таким образом, на экране цветного кинескопа имеется около 500 тыс. «красных», 500 тыс. «зеленых» и 500 тыс. «синих» точек люминофора — всего не менее полутора миллионов.

Точки люминофора располагаются строго регулярно, образуя так называемые триады (рис. 4.4). В каждую триаду входит по одной красной, зеленой и синей точке, расположенных по углам равностороннего треугольника. Несоблюдение необходимой точности расположения точек люминофора, даже их небольшое смещение в сторону от заданного положения на экране, неизбежно приведет к искажению цветовоспроизведения.

Перед экраном помещается цветоделительная маска *11* (рис. 4.3). Ее назначение — обеспечить прохождение лучей только на свои группы люминофорных точек. Маска обеспечивает, например, попадание красного электронного луча

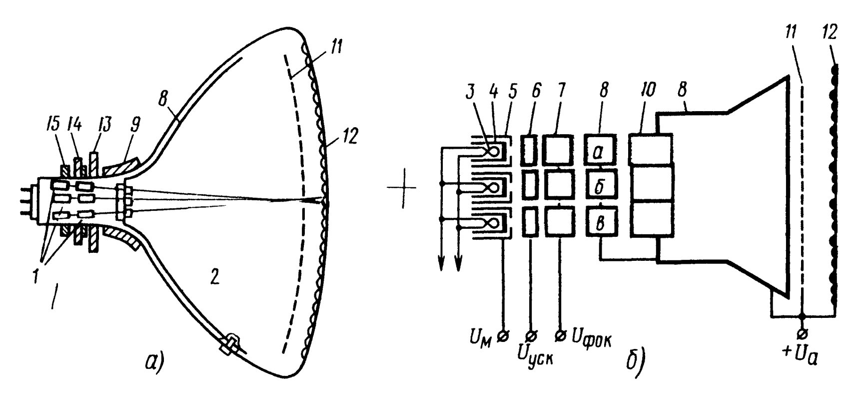


Рис. 4.3. Устройство цветного масочного кинескопа:
а — общий вид; *б* — внутренняя схема

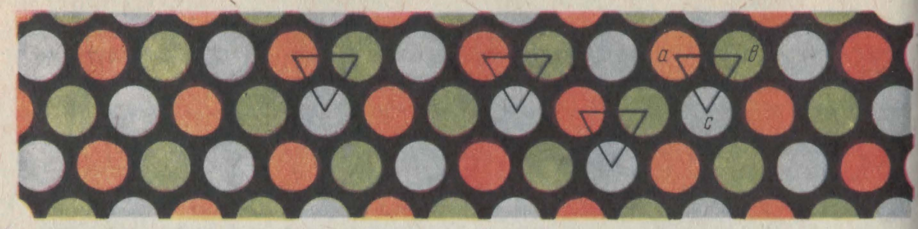


Рис. 4.4. Часть мозаичного люминофорного экрана цветного кинескопа (*a, b, c* — триада)

только на красные люминофорные точки и препятствует попаданию этого луча на зеленые и синие точки. Так же обстоит дело и с двумя другими лучами.

Принцип действия маски поясняется рис. 4.5. Маска представляет собой тонкий стальной лист (толщина примерно 0,15 мм) со множеством круглых регулярно расположенных отверстий (их диаметр в среднем 0,3 мм), причем их число равно числу элементов разложения (не менее 500 тыс. отверстий). Электронная оптика трубки устроена так, чтобы обеспечить схождение (сведение) всех трех лучей в общей точке на поверхности маски. С этой целью, в частности, в кинескопе катоды всех трех электронных прожекторов располагаются под взаимными углами в 120° в плоскости, перпендикулярной оси трубки. Оси симметрии прожекторов имеют по отношению к оси трубки наклон 1° (с точностью не ниже 2′).

В отрегулированном кинескопе при наличии строчной и кадровой разверток все три луча вместе должны проходить через одно и то же очередное отверстие. Это условие должно выполняться как в центральной, так и в периферической областях маски. После прохождения сквозь отверстия лучи расходятся, попадая каждый на свою точку люминофора. Если бы маска отсутствовала, каждый из лучей, двигаясь по строкам и кадрам, возбуждал бы кроме своих и точки двух других люминофоров. Маска препятствует попаданию электронных лучей не на свои люминофорные точки. На рис. 4.6 для простоты изображен только один, например зеленый, луч в пяти промежуточных положениях: *а, б, в, г* и *д*. Когда под воздействием отклоняющего поля электронный луч сходит с люминофорной точки *G*, участок маски *АБ* закрывает точки *B* и *R* от попадания на них зеленого луча. Такая же картина происходит и с двумя другими лучами, проникающими через отверстия маски на свои точки люминофора. Поэтому маска и называется теневой.

В цветных кинескопах последних лет отверстия в маске делаются не цилиндрическими, а коническими (рис. 4.7). Было установлено, что цилиндрическая форма отверстий приводит к снижению контрастности изображения, нарушению правильности цветовоспроизведения. На рис. 4.7*а* часть электронного луча *abc*, попадая на край отверстия, отражается в сторону, попадая на несоответствующие этому лучу

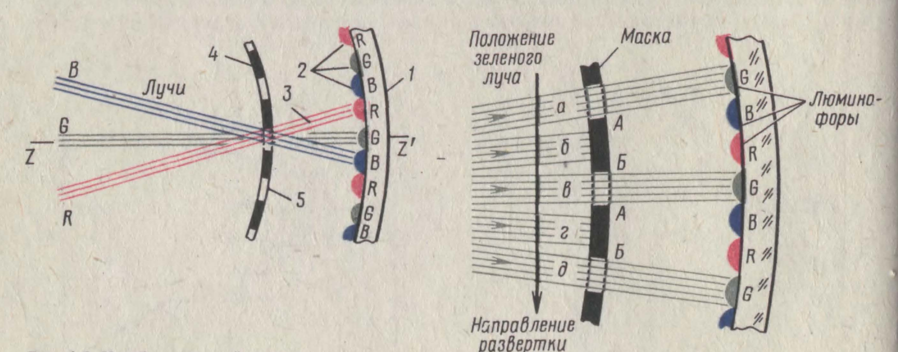


Рис. 4.5. К работе теневой маски:
1 — стекло экрана кинескопа; *2* — люминофоры; *3* — электронные лучи; *4* — маска; *5* — отверстия в маске

Рис. 4.6. Прохождение зеленого луча через отверстия в маске

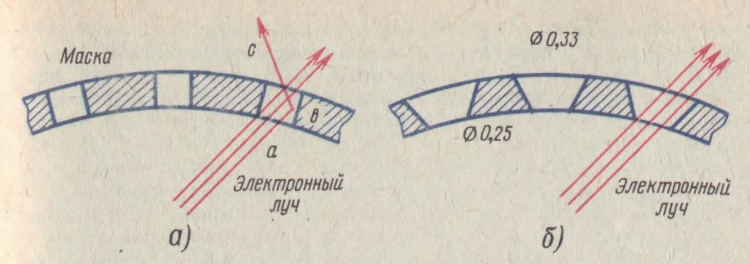


Рис. 4.7. Форма отверстий в маске:
а — цилиндрические отверстия; *б* — конические отверстия

элементы люминофора. При конической форме отверстий, имеющих больший диаметр, обращенный к экрану, подобное отражение отсутствует (рис. 4.7*б*). Меньший диаметр отверстия равен приблизительно 0,25 мм, а больший — 0,33 мм.

Наличие трех электронных прожекторов теневой, цветоделительной маски, мозаичного экрана делает цветной кинескоп значительно более сложным по сравнению с черно-белым. Важно подчеркнуть, что установка этих составных частей внутри колбы кинескопа для получения хорошего, неискаженного цветного изображения должна быть весьма точной. Тем не менее, даже в кинескопе с тщательно выполненной внутренней арматурой без дополнительных мер не удается получить правильного воспроизведения цветов. Во-первых, из-за расхождения электронных лучей при их отклонении по строкам и кадрам, приводящего к рассовмещению цветных линий на изображении, без принятия соответствующих мер лучи, отклоненные на края растра, не сходятся в одной точке, в одном отверстии маски. Во-вторых, из-за нарушения так называемой «чистоты цвета», заключающейся в том, что даже при наличии только одного луча, например красного (два других луча отключены), весь светящийся экран — растр — не будет равномерно окрашен красным цветом. Обычно в этом случае на экране появляются пятна других цветов — синего, зеленого. В-третьих, при хорошем наложении совмещений двух цветных изображений, например красного и зеленого, синее изображение может оказаться сдвинутым.

Однако даже при хорошем совмещении всех трех изображений полное изображение сопровождается геометрическими искажениями, проявляющимися обычно в том, что вместо прямоугольной формы растр приобретает форму «подушки», т. е. углы этого растра оказываются вытянутыми, а его вертикальные и горизонтальные края — изогнутыми внутрь.

Для устранения указанных недостатков при работе масочного трехлучевого кинескопа неизбежно приходится принимать дополнительные меры, сложные как в конструктивном, так и в схемном отношениях. С этой целью снаружи цветного кинескопа, на его горловине укрепляются дополнительные устройства (рис. 4.3*а*): электромагниты *13,* служащие для обеспечения сходимости лучей на всей поверхности маски, магниты чистоты цвета *14,* магнит горизонтального перемещения «синего» луча *15.* Поясним назначение и работу этих устройств.

Устройство регулировки чистоты цвета

В телевизоре всегда имеются источники магнитных полей, которые могут ухудшить работу кинескопа: трансформаторы, дроссели и др. Хотя кинескоп и помещается в магнитный экран, этого бывает недостаточно для полного устранения влияния этих полей на электронные лучи. На чистоту цвета и сходимость лучей влияет также магнитное поле Земли.

Кроме того, в серийном производстве цветных кинескопов могут возникать неточности установки арматуры прожекторов и маски, пусть даже небольшие. Это также приводит к попаданию электронных лучей на «чужие» элементы люминофора на экране.

Для устранения этих явлений служат магниты чистоты цвета *14.* Одна из возможных конструкций магнитов чистоты цвета показана на рис. 4.8. Устройство

состоит из двух намагниченных по диаметру колец *1* и *2*, надетых на горловину *3* кинескопа. При помощи ушек *4* и *5* можно каждый из магнитов независимо повернуть вокруг оси трубки. На рис. 4.8*а* расположение колец таково, что их магнитные поля складываются и напряженность поля *H* максимальна. Электронные лучи *R*, *G* и *B*, проходящие внутри колец, смещаются в сторону на максимальную величину, показанную на рисунке стрелками.

Раздвижение колец на угол α (рис. 4.8*б*) приводит к уменьшению напряженности поля и соответствующему уменьшению смещения лучей. Очевидно, что при $\alpha = 90°$ напряженность поля упадет до нуля. При $\alpha > 90°$ полярность напряженности изменится на противоположную и электронные лучи будут смещаться в другую сторону. Если оба кольца поворачивать в одну сторону (угол β на рис. 4.8*в*), то смещение лучей внутри колец приобретает соответствующий наклон. Так, при помощи этих двух намагниченных колец можно изменять как значение и полярность напряженности корректирующего магнитного поля, так и наклон магнитных силовых линий.

Коррекция чистоты цвета осуществляется на практике регулировкой положения двух устройств. Во-первых, подбором положения колец чистоты цвета, во-вторых, подбором положения отклоняющей системы вдоль оси трубки. В отличие от черно-белого кинескопа отклоняющая система, надетая на горловину цветного кинескопа, имеет возможность в некоторых пределах передвигаться вдоль оси трубки. Для этой цели в кожухе отклоняющей системы, жестко закрепленном на горловине трубки, имеются направляющие прорези, которым можно передвигать отклоняющие катушки. Окончательная фиксация положения отклоняющей системы осуществляется болтами и гайками — барашками.

Обычно перед началом коррекции чистоты цвета включается только красный электронный прожектор, а два других — синий и зеленый — выключаются. Поворотами намагниченных колец следует добиться чистого и равномерного красного

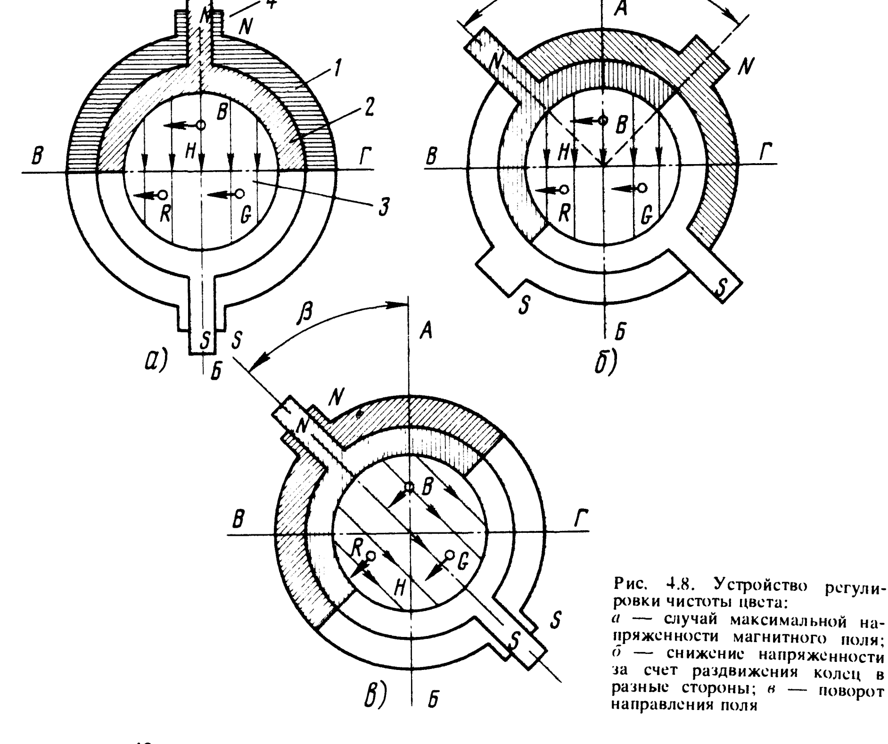


Рис. 4.8. Устройство регулировки чистоты цвета:
а — случай максимальной напряженности магнитного поля; *б* — снижение напряженности за счет раздвижения колец в разные стороны; *в* — поворот направления поля

свечения в центре экрана в возможно большей области. После этого перемещением отклоняющей системы вдоль оси трубки получают равномерное красное свечение, распределенное по всей поверхности экрана. Если при дальнейшем поочередном включении только синего или зеленого прожектора не удается соответственно получить равномерного синего и зеленого свечения по всему экрану, кинескоп следует считать некондиционным.

Устройства динамического и статического сведения лучей

Для правильного воспроизведения цветов на экране кинескопа необходимо, чтобы все три электронных луча одновременно проходили через одно и то же отверстие маски на всей ее поверхности. Наличие чистоты цвета еще не обеспечивает этого условия. На рис. 4.9 представлен случай, когда все три луча, хотя и попадают только на свои точки люминофора, при отклонении проходят через разные отверстия в маске. Таким образом, на люминофорном экране эти лучи не сходятся в одной триаде. В этом случае возникает так называемое рассовмещение лучей, выражающееся в виде паразитных цветовых окантовок контуров изображения, особенно сильно проявляющихся на периферии экрана (при больших углах отклонения лучей).

Для коррекции рассовмещения лучей используется специальное устройство сведения лучей в одно отверстие на маске независимо от местонахождения этого отверстия. Это устройство надевается на горловину кинескопа вплотную к отклоняющей системе (*13* на рис. 4.3).

Принцип устранения рассовмещения лучей поясняет рис. 4.10, на котором показано расположение (для простоты рассмотрения) только двух прожекторов — синего и красного лучей. Эти лучи, отклонившиеся на угол φ, не пересекаются в точке a_3, лежащей на поверхности маски. Их пересечение происходит в точке *с*, находящейся перед маской. На маску лучи попадают в разных точках a_1 и a_2. Так возникает рассовмещение лучей при отклонении.

Система динамического сведения нужным образом исправляет траектории лучей (ее магнитное поле условно помещено в участок *АБВГ* на рис. 4.10). В результате действия полей сведения H_B и H_R и, конечно, H_G (их величину, форму изменения во времени и полярность можно регулировать в процессе налаживания телевизора) траектории красного, зеленого и синего лучей удается свести в одну точку a_3.

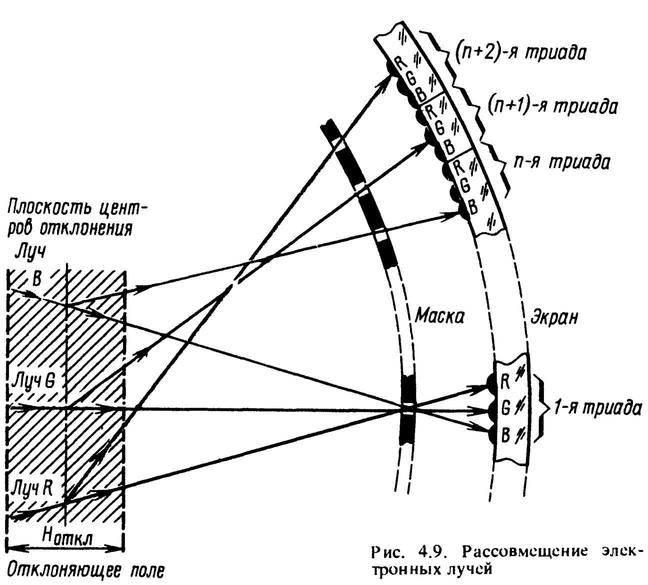


Рис. 4.9. Рассовмещение электронных лучей

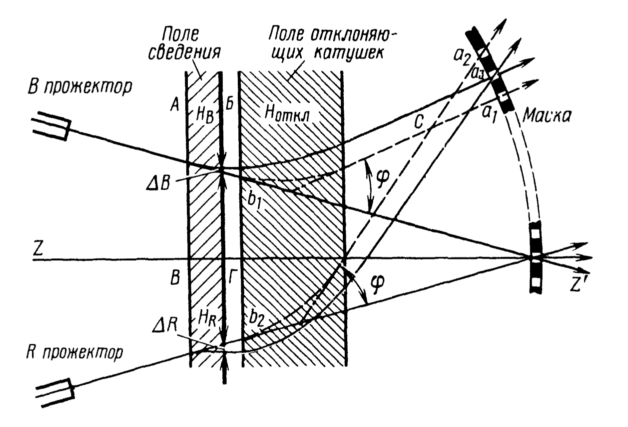


Рис. 4.10. Устранение рассовмещения лучей

Штриховые линии b_1ca_1 и b_2ca_2 на рис. 4.10 соответствуют траекториям отклоненных магнитным полем отклоняющей системы лучей без воздействия полей напряженностью H_B и H_R системы сведения; ΔB и ΔR — дополнительное отклонение лучей под воздействием электромагнитных полей сведения.

Эскиз конструкции устройства сведения дан на рис. 4.11. Оно состоит из трех постоянных магнитов статического сведения *1* и трех электромагнитов динамического сведения *2*. Имеются также полюсные наконечники снаружи *3* и внутри *4* горловины кинескопа. Внутренние наконечники взаимно экранированы магнитным экраном *5*. Такая экранировка устраняет взаимное влияние полей H_R, H_G, H_B при их регулировке.

Магниты статического сведения лучей представляют собой стальные цилиндры, намагниченные по диаметру. На торце каждого цилиндра имеется ручка для его поворота в процессе регулировки статического сведения. Рис. 4.11*б* поясняет действие магнита статического сведения. Вращая магнит *1*, можно регулировать величину и менять полярность магнитного поля в зазоре полюсных наконечников *4*, где проходит электронный луч. Таким образом лучу сообщается дополнительное перемещение по радиусу окружности горловины.

Вращением магнитов статического сведения (с участием магнита перемещения синего луча по горизонтали) можно добиться того, что в центральной части экрана все три луча будут одновременно проходить через одни и те же отверстия в маске.

Однако при отклонении лучей полями отклоняющих катушек их схождение на периферии экрана нарушится (см. рис. 4.9, 4.10). Для устранения этого явления служат электромагниты *2* динамического сведения лучей. В обмотки *С* поступают переменные токи строчной частоты, в обмотки *К* — токи кадровой частоты.

Так как расхождение лучей увеличивается с увеличением их отклонения от центра изображения к его краям, мгновенные значения корректирующих токов динамического сведения также должны увеличиваться с увеличением отклонения. Выполнение этого условия хорошо обеспечивается параболической формой корректирующих токов. Однако в ряде случаев расхождение лучей на периферии изображения оказывается нессимметричным относительно центра. Введение в состав параболических корректирующих токов пилообразных составляющих дает возможность улучшить динамическое сведение лучей при их несимметричном расхождении. Пилообразно-параболическая форма этих токов, изображенная на рис. 4.12, создается специальной схемой, имеющейся в каждом цветном телевизоре.

На шасси телевизора выносятся ручки регулировки амплитуд токов сведения, относительного содержания в них пилообразной и параболической составляющей, ручки регулировки полярности этих токов. Как видно из рис. 4.12, в точках *А*, соответствующих положению лучей в центре экрана, токи динамического сведения равны нулю и здесь действуют только постоянные магниты статического сведения лучей.

Рис. 4.11. Эскиз конструкции устройства сведения: *а* — устройство в сборе; *б* — работа магнита статического сведения

Рис. 4.12. Форма токов динамического сведения

Вследствие возможной неточности установки арматуры электронных прожекторов рассмотренное устройство обеспечивает обычно сведение в одной точке только двух лучей (рис. 4.13). Поворотом магнитов статического сведения красного и зеленого лучей можно добиться совмещения этих лучей в одной точке *О* в центральном отверстии маски. Однако, как показано на рисунке, траектория синего луча может при регулировке сведения пройти мимо точки *О* (точка *О′*). Для устранения этого явления в конструкцию вводится еще одно устройство с магнитом, регулируя положение которого можно получить необходимое дополнительное перемещение синего луча относительно двух других лучей по горизонтали.

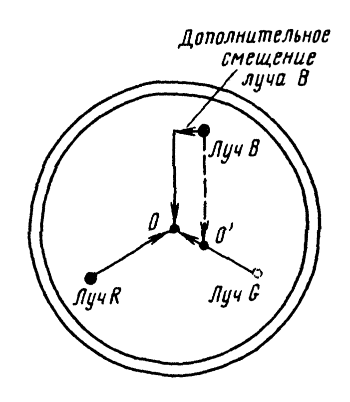


Рис. 4.13. Иллюстрация несовпадения траектории синего луча с двумя остальными

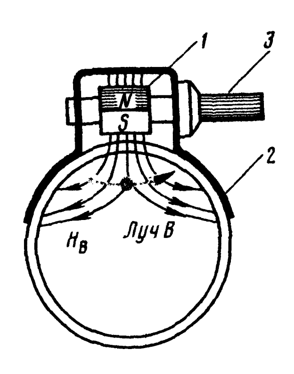


Рис. 4.14. Устройство магнита горизонтального смещения синего луча:
1 — ферритовый цилиндр, намагниченный по диаметру; *2* — полюсные наконечники; *3* — ручка поворота намагниченного цилиндра

Эскиз одной из возможных конструкций устройства перемещения синего луча по горизонтали приведен на рис. 4.14. Вращая намагниченный цилиндр при помощи ручки, можно изменять величину и полярность напряженности поля H_B, воздействующего на горизонтальное перемещение синего луча.

Имеющаяся в телевизоре схема, питающая катушки динамического сведения необходимыми токами строчной и кадровой частоты, оказывается достаточно сложной. Эта схема должна формировать токи, в состав которых входят параболическая и пилообразная составляющие, причем амплитуды и полярности этих составляющих должны иметь независимую регулировку. Кроме того, в схеме предусматривается возможность регулируемой амплитудной модуляции строчных токов кадровыми и наоборот (рис. 4.15). Необходимость такой взаимной модуляции объясняется тем, что рассовмещение изображения по горизонтали зависит от вертикального положения этого рассовмещения и наоборот. Например, рассовмещение основных цветов по горизонтали оказывается бо́льшим вверху и внизу по сравнению с его серединой.

При необходимости читатель может ознакомиться с конкретными схемами сведения лучей в пособиях по регулировке и ремонту цветных телевизоров, указанных в конце книги. Здесь же мы изложим в упрощенном виде принцип работы таких устройств. На рис. 4.16 L представляет собой индуктивность катушки уст-

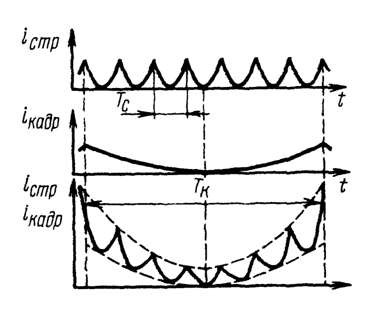


Рис. 4.15. Взаимная модуляция токов динамического сведения

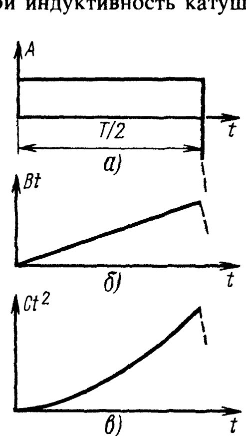


Рис. 4.17. Требуемая форма напряжения на катушках динамического сведения

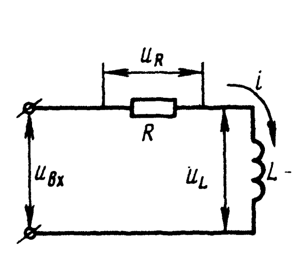


Рис. 4.16. Элементы схемы устройства динамического сведения

ройства динамического сведения; R — ограничительное сопротивление. В общем виде ток сведения i должен содержать как линейную (пилообразную) $i_{лин}$, так и параболическую $i_{пар}$ составляющие (см. рис. 4.12):

$$i = i_{лин} + i_{пар} = at + bt^2 \qquad (4.1)$$

Выясним форму входного напряжения $u_{вх}$. Оно состоит из суммы u_L и u_R:

$$u_L = L\frac{di}{dt} = a + 2\,bt; \; u_R = iR = aRt + bRt^2,$$

т. е. $$u_{вх} = u_L + u_R = a + (2b + aR)\,t + bRt^2 = A + Bt + Ct^2, \qquad (4.2)$$

где $A = a$; $B = 2b + aR$; $C = bR$.

Таким образом, *входное напряжение* $u_{вх}$ *должно на прямом ходе строчной и* кадровой разверток состоять из постоянной A, линейной Bt и квадратичной Ct^2

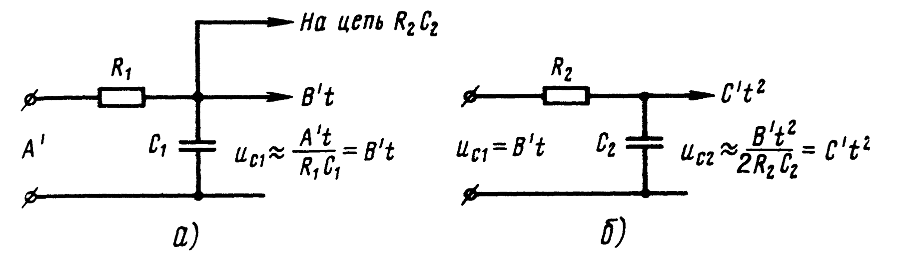
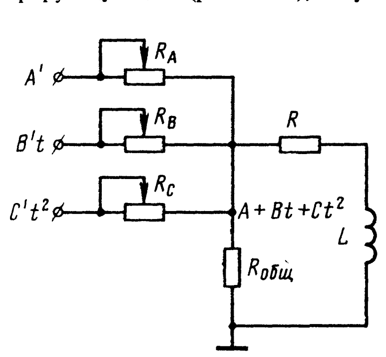


Рис. 4.18. Схема интегрирующей цепочки:
а — первое звено; *б* — второе звено

составляющих (рис. 4.17). Такие составляющие можно получить, используя напряжения, имеющиеся в схемах генераторов строчной и кадровой разверток.

На индуктивностях выходного каскада строчной развертки (например, на обмотках выходного трансформатора, на отклоняющих катушках и др.) форма напряжения имеет вид, показанный на рис. 4.17*а*. Подав это напряжение на интегрирующую цепь (рис. 4.18*а*), получим пилообразное напряжение (рис. 4.17*б*):



$$u_{C1} \approx \frac{1}{R_1 C_1} \int A' dt = \frac{A'}{R_1 C_1} t = B't.$$

На вход следующей интегрирующей цепи R_2C_2 (рис. 4.18*б*) подаем напряжение $u_{C1} = B' t$. На ее выходе образуется параболическая составляющая (рис. 4.17*в*)

$$u_{C2} \approx \frac{1}{R_2 C_2} \int u_{C1} dt = \frac{1}{R_2 C_2} \int \times$$

$$\times \int B' t dt = \frac{B'}{2 R_2 C_2} t^2 = C't^2.$$

Рис. 4.19. Схема подачи всех составляющих тока сведения в катушку сведения

Упрощенная схема подачи всех составляющих в цепь катушки сведения L показана на рис. 4.19. Напряжения A', $B't$, $C't^2$ через регулировочные резисторы R_A, R_B и R_C поступают на общий резистор $R_{общ}$. Здесь происходит сложение составляющих. Регулировка сопротивлений резисторов R_A, R_B и R_C определяет нужную пропорцию между составляющими $A = aA'$, $B = bB'$, $C = cC'$, где значения a, b, c зависят от положения движков на резисторах R_A, R_B и R_C.

Отметим еще раз, что практическая схема динамического сведения лучей оказывается значительно сложнее описанной. В ней используется ряд усилительных каскадов, амплитудных модуляторов, устройств стабилизации и др. Схема снабжена многочисленными регулировками параметров токов, поступающих в катушки устройства динамического сведения лучей.

Генераторы отклонения электронных лучей в трехлучевом масочном кинескопе

К устройствам отклонения электронных лучей в цветном масочном кинескопе предъявляются значительно более жесткие и высокие требования, чем в черно-белом. Это объясняется следующими основными причинами:

1. Значительно более высокое анодное напряжение цветного кинескопа ($U_{а.цв} \approx 25$ кВ; $U_{а.ч\text{-}б} \approx 16$ кВ) и увеличение диаметра горловины колбы с целью помещения туда трех прожекторов вместо одного ($d_{цв} = 38$ мм; $d_{ч\text{-}б} = 29$ мм) вызывает необходимость существенного увеличения энергии отклонения в поле отклоняющих катушек.

2. Усложнения конструкции отклоняющей системы, заключающиеся в необходимости получения растра, дефекты которого — рассовмещение лучей, недостаточная чистота цвета, подушкообразные геометрические искажения — могли бы быть с удовлетворительным качеством устранены описанными далее устройствами.

3. Необходимо достаточно точно стабилизировать напряжения питания кинескопа, в первую очередь анодное напряжение. Отсутствие такой стабилизации приводит к ухудшению качества цветовоспроизведения в процессе эксплуатации телевизора.

4. Кроме основного назначения — питания пилообразными токами кадровых и строчных отклоняющих катушек — генераторы развертки выполняют еще ряд функций: питают выпрямители, обеспечивающие электроды кинескопа необходимыми постоянными напряжениями; участвуют в формировании тoков динамического сведения лучей, токов коррекции подушкообразных искажений растра и др.

Указанные особенности неизбежно приводят к существенному увеличению общего расхода мощности в схемах развертки.

Выходной каскад генератора строчной развертки. В цветных телевизорах с большим экраном (59, 61 см по диагонали) применяется ламповая схема генератора строчной развертки или схема на тиристорах. В небольших переносных цветных телевизорах («Электроника Ц-430» с кинескопом 25ЛК2Ц, «Юность Ц-401» с кинескопом 32ЛК1Ц) схема строчной развертки выполняется на транзисторах.

На рис. 4.20 представлена структурная схема выходного лампового каскада генератора строчной развертки в цветном телевизоре с большим экраном. На управляющую сетку выходной лампы *1* от задающего генератора поступают импульсы строчной частоты. В анодную цепь этой лампы включен выходной строчный трансформатор ТВС *2*. В схеме на рис. 4.20 показаны десять выходов импульсных напряжений, получаемых от различных обмоток трансформатора.

К этому же трансформатору подключен демпферный диод *3*, являющийся необходимым элементом в схеме генератора строчной развертки как черно-белого, так и цветного телевизора. Основной нагрузкой выходного строчного трансформатора являются отклоняющие катушки *4*, в которых формируется пилообразный ток. Для улучшения линейности развертки по строкам последовательно с отклоняющими катушками включается регулятор линейности строк РЛС *5*. Его устройство по принципу действия аналогично такому же регулятору в черно-белом телевизоре

Для повышения качества воспроизведения цветов на экране кинескопа и уменьшения геометрических искажений растра необходимо обеспечить равенство индук-

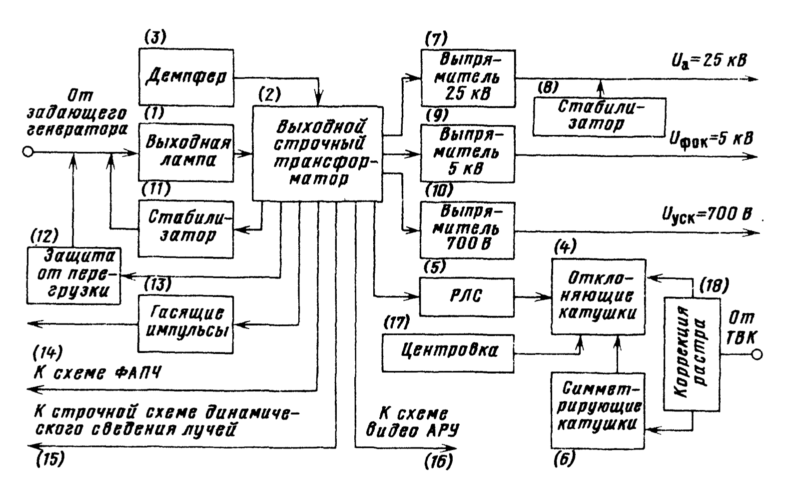


Рис. 4.20. Структурная схема выходного каскада генератора строчной развертки цветного телевизора

тивностей обеих строчных катушек. С этой целью последовательно с отклоняющими катушками *4* включаются симметрирующие катушки *6*, в которых предусмотрена возможность изменения их индуктивности в процессе регулировки и наладки схемы.

Так же, как и в черно-белом телевизоре, для получения высокого анодного напряжения кинескопа используются импульсы напряжения обратного хода, которые снимаются с анодной обмотки, соединенной последовательно с дополнительной (высоковольтной) обмоткой. Эти импульсы выпрямляются в блоке *7*. Выпрямленное напряжение ($U_а = 25$ кВ) подается на анод кинескопа.

Во многих схемах цветных телевизоров используется специально разработанный триод, стабилизирующий анодное напряжение (блок *8*). Этот триод во время работы телевизора открыт и поглощает часть тока высоковольтного выпрямителя. В случае превышения анодным напряжением установленной нормы на сетке стабилизирующего триода автоматически в нужную сторону изменяется смещение: триод дополнительно открывается и шунтирует выход высоковольтного выпрямителя. При снижении $U_а$ шунтирующее действие триода соответственно уменьшается.

Кроме анодного напряжения $U_а = 25$ кВ, на фокусирующие электроды необходимо подать постоянное напряжение $U_{фок} \approx 5$ кВ. Обычно оно также получается путем выпрямления импульсов обратного хода (блок *9*). Таким же образом удобно получить напряжение для питания ускоряющих электродов $U_{уск} = 500 \div 700$ В (блок *10*).

Амплитуда пилообразного тока, создаваемого выходным каскадом, может изменяться в процессе работы под воздействием целого ряда дестабилизирующих факторов. Соответственно будет нестабильной длина строк растра, т. е. размер по горизонтали. Для стабилизации этого размера служит блок *11*. Этот блок является своеобразным устройством отрицательной обратной связи, по действию аналогичной АРУ с задержкой. В блоке *11* используется нелинейное сопротивление — варистор, являющийся выпрямительным элементом. На вход блока *11* от выходного трансформатора подаются импульсы напряжения обратного хода. Выпрямитель работает с задержкой. При нормальной амплитуде импульсного напряжения выпрямитель не действует. При увеличении сверх нормы этой амплитуды включается в работу выпрямитель-варистор, возникает постоянное отрицательное напряжение, поступающее на сетку выходной лампы. Лампа частично запирается, и импульсы тока и напряжения в ее анодной цепи соответственно уменьшаются.

Во многих телевизорах в схеме генератора строчной развертки применяется устройство *12* защиты генератора от перегрузки. В случае какой-либо неисправности в нагрузочных цепях выходной лампы, сопровождающейся чрезмерным увеличением токов, блок *12* автоматически вырабатывает достаточно большое отрицательное напряжение, поступающее в цепь управляющей сетки и защищающее лампу и другие узлы схемы от разрушения.

В современных черно-белых и цветных телевизионных приемниках для надежного и своевременного запирания лучей во время обратного хода используются схемы, формирующие из импульсов обратного хода гасящие импульсы необходимой величины и фазы. Дело в том, что гасящие импульсы, входящие в состав полного телевизионного сигнала, часто оказываются недостаточными по размаху и длительности. Схема *13* формирует дополнительные гасящие импульсы, которые поступают на катоды электронных прожекторов кинескопа.

В современных телевизорах синхронизация задающего генератора строчной развертки осуществляется схемой фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) этого генератора. Как известно, такая схема обладает весьма высокой помехоустойчивостью. В этой схеме происходит сравнение частоты и фазы синхроимпульсов принятого телевизионного сигнала с импульсами, получаемыми от выходного каскада. Эти импульсы сравнения снимаются с одной из обмоток трансформатора (выход *14*). С этого же трансформатора подаются импульсы на схему формирования строчных токов динамического сведения лучей (выход *15*).

В современных телевизорах имеется схема автоматической регулировки контрастности изображения (так называемая ключевая АРУ). Эта регулировка поддерживает постоянной контрастность изображения независимо от изменений условий приема, нестабильности напряжений питания узлов схемы телевизора и пр. На схему АРУ кроме телевизионного сигнала необходимо подавать импульсы напряжения обратного хода строчной развертки (выход *16*).

Как отмечалось, центровка растра на экране цветного телевизора осуществляется электрическим путем — подачей в отклоняющие катушки постоянной составляющей тока, величина и полярность которого регулируется в блоке *17*.

Подушкообразные искажения растра являются типичными для кинескопов с большим углом отклонения и практически плоским экраном. В цветных кинескопах коррекция подушкообразных искажений осуществляется также электрическим путем. Для этой цели служит блок *18*.

Ближайшая перспектива развития и совершенствования выходных каскадов строчной развертки — использование в них полупроводниковых приборов (независимо от размера кинескопа).

Генератор кадровой развертки. Основное назначение генератора кадровой развертки — создание в кадровых катушках отклоняющей системы импульсов тока такой формы и такого размаха, при которых на экране кинескопа обеспечивается номинальный размер растра по вертикали с допустимой нелинейностью и необходимой стабильностью.

Помимо этого основного назначения, генератор кадровой развертки должен обеспечивать: 1) электрическое центрирование растра по вертикали; 2) гашение лучей кинескопа во время обратного хода по кадрам; 3) получение импульсов для схемы, формирующей кадровые токи динамического сведения лучей; 4) получение импульсов для схемы опознавания цвета.

На рис. 4.21 представлена структурная схема генератора кадровой развертки цветного телевизора. На управляющую сетку выходной лампы *1* подается напряжение, состоящее из суммы пилообразного напряжения, создаваемого формирователем *2*, и напряжения обратной связи. Работой формирователя управляет задающий генератор *3*. В качестве такого генератора обычно используется мультивибратор или блокинг-генератор. В схему задающего генератора поступают кадровые синхронизирующие импульсы.

В анодную цепь выходной лампы включен выходной кадровый трансформатор ТВК *4*, снабжающий в первую очередь импульсами необходимой формы отклоняющие катушки *5*. Для получения в отклоняющих катушках пилообразного тока необходимой формы и амплитуды, обеспечивающих линейное перемещение лучей по вертикали, используется обратная связь анодной цепи выходной лампы с ее сеточной цепью. Для выполнения задачи линейного отклонения по вертикали в блоке обратной связи *6* формируется параболическая составляющая напряжения возбуждения выходной лампы.

Как указывалось, центровка растра в цветных кинескопах может осуществляться только электрической регулировкой. С этой целью из блока *7* в цепь отклоняющих катушек подается постоянная составляющая тока, смещающая растр по вертикали. В блоке *7* предусматривается регулировка центровки по величине и направлению.

Так же, как и в генераторе строчной развертки, в кадровом генераторе имеется устройство *8*, служащее для коррекции подушкообразных искажений растра по

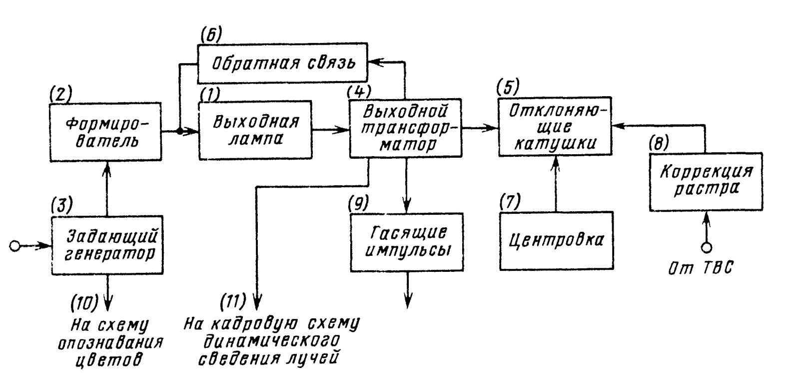


Рис. 4.21. Структурная схема генератора кадровой развертки цветного телевизора

вертикали. С соответствующей обмотки ТВК поступает напряжение, из которого в блоке *9* формируются импульсы гашения обратного хода луча по вертикали.

В телевизоре системы SECAM имеется так называемое устройство опознавания цветов (цветовой синхронизации), которое обеспечивает правильное воспроизведение цветов на экране кинескопа. Для работы этого устройства необходимы импульсы напряжения кадровой частоты, которые поступают от задающего генератора (выход *10*).

С выходного трансформатора снимаются также импульсы, используемые для схемы формирования кадровых токов динамического сведения лучей (выход *11*).

В последнее время в отечественных цветных телевизорах генератор кадровой развертки выполняется целиком на полупроводниковых приборах.

Коррекция подушкообразных искажений растра

Геометрические искажения растра типа «подушка» характерны как для черно-белых, так и для цветных кинескопов с большим углом отклонения лучей и относительно плоским экраном. Причины возникновения таких искажений поясняются рис. 4.22*а*. При равных приращениях угла отклонения $\Delta\alpha$ приращения Δh перемещения луча на плоском экране не равны: $\Delta h_2 > \Delta h_1$. Это приводит к вытягиванию растра на периферии, особенно по углам. Фигура искаженного таким образом растра напоминает подушку.

Подушкообразные искажения растра у черно-белых кинескопов выправляются четырьмя магнитами, укрепленными в углах кожуха отклоняющей системы. Для цветного кинескопа такой метод неприемлем, так как поле этих магнитов нарушает качество воспроизведения цвета. Как и в других подобных случаях, коррекция «подушки» осуществляется электрическим путем.

Для коррекции подушкообразных искажений по строкам, т. е. для выравнивания искривленных вертикальных линий A''—B'', A'—B', необходимо добиваться выравнивания длины строк, т. е. добиваться равенства $l_1 = l_2$. Из рис. 4.22*б* следует, что для этого необходимо длину строк сверху и снизу уменьшить, а в середине увеличить: $l_1 \to l$; $l_2 \to l$. Поскольку изменение длины строки однозначно связано с соответствующим изменением размаха отклоняющего тока, форма этого тока, корректирующая «подушку» вдоль строк, должна иметь вид, представленный на рис. 4.23. На этом рисунке в начале и в конце периода вертикальной развертки амплитуда отклоняющего строчного тока меньше, чем в середине. При этом должно соблюдаться приблизительное равенство (приблизительное потому, что точной пропорциональности между отклоняющим током и отклонением нет):

$$(I_{max} - I_{min})/(I_{max} + I_{min}) = (l_2 - l_1)/(l_2 + l_1). \qquad (4.3)$$

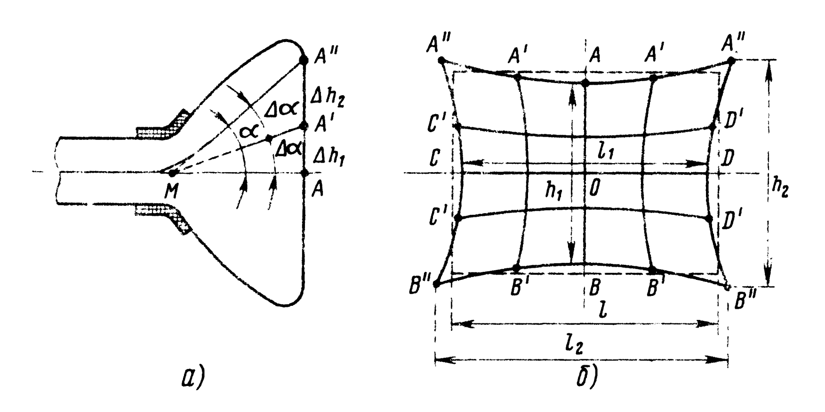


Рис. 4.22. Иллюстрация возникновения подушкообразных искажений

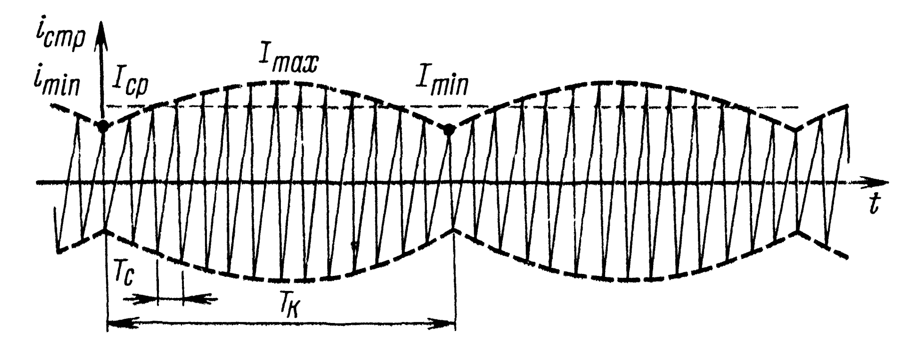


Рис 4.23 Форма тока строчной развертки, корректирующая подушкообразные искажения изображения вдоль строк

Для коррекции подушкообразных искажений по вертикали, т. е. исправления искривленных горизонтальных линий $A''—A''$ $C'—D'$, на отклоняющии ток вертикальной развертки следует наложить составляющие тока строчной частоты необходимой формы. Для определения этой формы обратимся к рис. 4.24, на котором изображен скорректированный по горизонтали растр. Наибольший прогиб $A''BA''$ соответствует ее середине (точка B). Необходимо скомпенсировать сдвиг по вертикали Δh, т. е. из мгновенного значения кадрового отклоняющего тока $\Delta i_{кB}$ в этой точке вычесть $\Delta i_{кB} \approx a\Delta h$ (a — коэффициент пропорциональности): $i_{кB} = \Delta i_{кB}$.

В точках A значение $\Delta i_{кA''}$ должно равняться нулю — здесь коррекции не требуется (рис. 4.24).

По мере перехода лучей от верхних строк к нижним требуемое значение $\Delta i_{кB}$ должно уменьшаться, достигая на центральной линии A — A значения, равного нулю. При дальнейшем вертикальном отклонении луча от точки 0 до точки B приращение $\Delta i_{кB}$ должно изменить знак и постепенно увеличиваться до максимального значения в нижней точке B.

На рис. 4.25 в условиях масштаба изображена необходимая форма импульсов отклоняющего тока кадровой развертки, обеспечивающая коррекцию подушкообразных искажений в вертикальном направлении. Этот ток состоит из суммы приблизительно параболических импульсов строчной частоты и пилообразных импульсов кадровой частоты. Подчеркнем еще раз, что корректирующие строчные импульсы на всем периоде кадровой развертки постепенно изменяют амплитуду от отрицательного максимального значения в начале кадровой развертки до нуля в середине и до положительного максимального значения в конце развертки.

На рис. 4.26 изображена структурная схема корректора подушкообразных искажений. Блок модулятор-сумматор выполняет две функции. Его зажимы

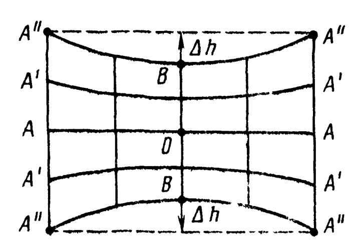


Рис 4.24 Вертикальные подушкообразные искажения

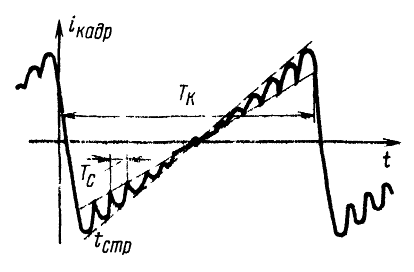


Рис 4.25 Необходимая форма тока вертикального отклонения, корректирующая вертикальные подушкообразные искажения

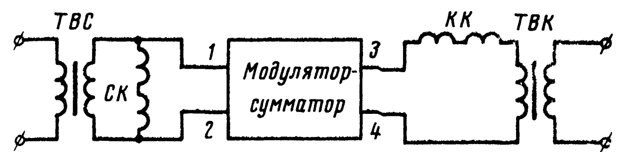


Рис. 4.26. Структурная схема корректора подушкообразных искажений.

1-2 включены параллельно строчным катушкам СК. При подаче пилообразного тока кадровой частоты, создаваемого импульсным напряжением, получаемым от кадрового трансформатора ТВК, на зажимы *3-4* (этот ток проходит также и через кадровые катушки КК) происходит изменение реактивного сопротивления между зажимами *1-2*. В начале и в конце прямого хода кадровой развертки это сопротивление снижается, что приводит к *необходимому шунтированию* строчных отклоняющих катушек и к соответствующему уменьшению амплитуды строчного пилообразного тока. В середине кадрового прямого хода, когда ток вертикальной развертки равен нулю, шунтирование строчных катушек минимально.

В свою очередь, часть тока строчной частоты, генерируемая строчным трансформатором ТВС, через зажимы *1-2* ответвляется в модулятор. Несложная интегрирующая цепь превращает форму этого тока из пилообразной в параболическую. Строчный параболический ток складывается в катушках КК с основным отклоняющим током кадровой развертки. В результате этого форма тока в кадровых катушках приобретает вид, показанный на рис. 4.25.

Таким образом, коррекция подушкообразных искажений растра должна осуществляться: по строкам — амплитудной модуляцией строчного пилообразного тока параболическим (приблизительно) напряжением частоты вертикальной развертки; по кадрам — сложением пилообразного кадрового тока с параболическим (приблизительно) током строчной частоты, модулированным по амплитуде.

В схеме коррекции подушкообразных искажений растра в качестве модулятора используется специальный трансформатор с ферритовым сердечником (рис. 4.27*а*). На средний керн сердечника этого трансформатора наматывается обмотка *К-К*, включаемая в цепь кадрового отклонения. На крайних кернах *С-С* помещаются две строчные согласно включенной обмотки. Они подсоединяются параллельно строчным отклоняющим катушкам (рис. 4.27*б*). Элементы внешней

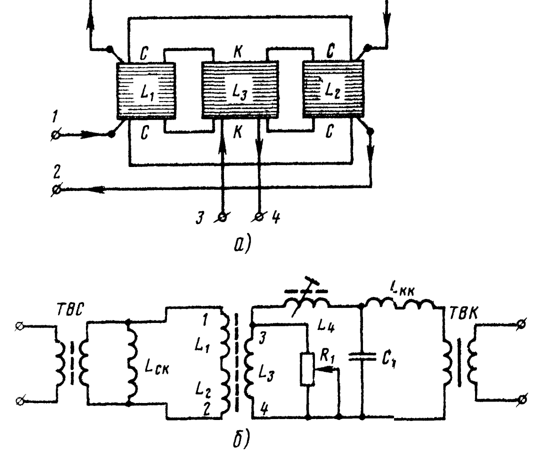


Рис. 4.27. Трансформатор с ферритовым сердечником. *а* — эскиз трансформатора, *б* — принципиальная схема

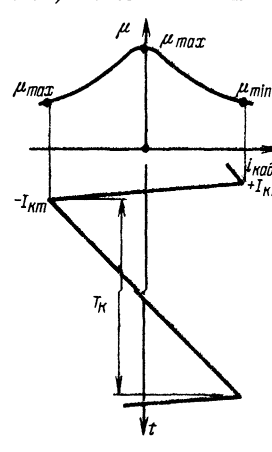


Рис. 4.28. Изменение индуктивности трансдуктора при изменении подмагничивающего тока

схемы L_4 и C_1 служат для преобразования формы строчного тока из пилообразной в параболическую. Изменением индуктивности катушки L_4 регулируется степень коррекции подушкообразных искажений по вертикали. Переменный резистор R_1 регулирует коррекцию вдоль строк.

Принцип модуляции амплитуды строчного пилообразного тока колебаниями кадровой частоты поясняет рис. 4.28. Кадровый пилообразный ток, проходя по обмотке *К-К*, вызывает насыщение сердечника трансформатора. При этом магнитная проницаемость меняется от $\mu_{max}/(i_к = 0)$ до $\mu_{min}(i_к = I_{к\,m})$. Индуктивность катушки с магнитным сердечником определяется формулой

$$L = \frac{1{,}26\, Sw^2}{l} \mu \cdot 10^{-8}, \qquad (4.4)$$

где S — сечение сердечника, см²; l — длина средней силовой линии в сердечнике, см; μ — магнитная проницаемость сердечника, Тс/Э.

В соответствии с формулой (4.4) при уменьшении μ, как показано на рис. 4.28, уменьшается индуктивность обмоток *С-С* и шунтирующее действие на строчные катушки усиливается в начале и в конце прямого хода кадровой развертки.

В более совершенных схемах коррекции подушкообразных искажений используются вместо одного два трансформатора, что позволяет более точно и независимо регулировать коррекцию по горизонтали и вертикали.

Баланс белого

В трехлучевом цветном кинескопе кроме рассмотренных ранее коррекций необходимо проводить еще одну регулировку — баланс белого.

Неокрашенное (ахроматическое) изображение создается возбуждением тремя электронными лучами одновременно всех трех элементов в каждой триаде люминофора. В этом случае при хорошо отрегулированных устройствах сведения лучей и чистоты цвета все поле светящегося растра должно быть белым. Однако на практике может получиться так, что при регулировке яркости на разных ее уровнях изображение приобретает нежелательную подкраску. Такое явление вызывается нарушением так называемого *статического баланса белого*; ри. 4.29*а* поясняет одну из возможных причин отсутствия статического баланса белого. Здесь приведены модуляционные характеристики трех прожекторов кинескопа, т. е. зависимости токов лучей $i_л$ (или пропорциональный току луча яркости B) от напряжения $u_м$ между катодами и модуляторами. Разброс параметров модуляционных характеристик кинескопа, как видно из рис. 4.29*а*, проявляется в неравенстве напряжений отсечки. Напряжения U_{0R}, U_{0G} и U_{0B}, при которых токи лучей, а следовательно, и яркости на экране равны нулю, не совпадают для всех

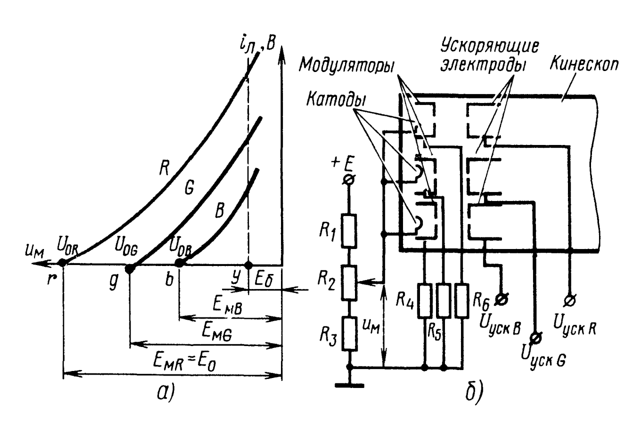


Рис. 4.29. К пояснению работы трехлучевого кинескопа:
а — модуляционные характеристики; *б* — схема подачи напряжений на электроды электронного прожектора

лучей. Пусть при $u_м = E_б$ экран светится белым цветом. Установим при помощи движка резистора R_2 (рис. 4.29*б*) напряжение $E_{mR} = E_0$, закрывающее все три луча. В этом случае экран будет совершенно темным.

Далее с целью регулировки яркости будем постепенно уменьшать (по абсолютному значению) напряжение $E_м$. При этом на участке *r* — *g* проявится неяркое красное свечение растра. На участке *g* — *b* к красному добавится зеленое свечение. Цвет экрана постепенно перейдет от красного к оранжевому, а затем к желтому. После точки *в* экран будет «выцветать» (т.е. терять насыщенность). Где-то в точке *у* можно будет считать, что экран светится белым цветом. Таким образом, при повороте ручки яркости от темного к светлому, кроме изменения яркости будет изменяться и цветовой тон подкраски растра.

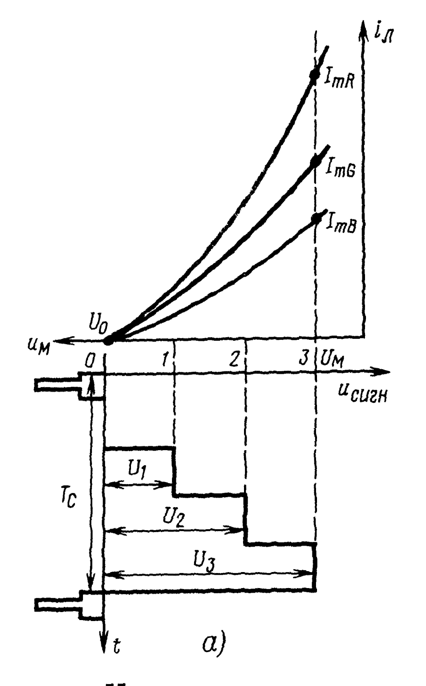
Как видно из рис. 4.29*а*, существенное нарушение баланса белого будет наблюдаться в первую очередь на участках неокрашенного изображения, соответствующих малой яркости.

Регулировку баланса белого удобно производить подбором напряжений питания $U_{уск}$ ускоряющих электродов. Изменение этих напряжений перемещает положение точек U_{oR}, U_{oG} и U_{oB} на характеристиках (рис. 4.29*а*). Так, увеличение $U_{уск}$ увеличивает (по абсолютному значению) U_0 и наоборот.

Совмещением точек напряжений U_{oR}, U_{oG} и U_{oB} (рис. 4.30*а*) удается значительно улучшить баланс белого. Однако это оказывается еще недостаточным. Следует далее произвести регулировку *динамического баланса белого.*

Нарушение динамического баланса белого удобно наблюдать, если на участок катод-модулятор подавать ступенчатый телевизионный сигнал — шкалу серого. Этот сигнал достаточной амплитуды на экране отрегулированного кинескопа должен создавать изображение нескольких (обычно восьми) вертикальных полос с градациями яркости от самой яркой до самой темной. Подача такого сигнала иллюстрируется на рис. 4.30*а* (испытательный сигнал для простоты изображен только четырьмя градациями).

Если совместить на оси абсцисс точки отсечки всех трех лучей в одной точке U_0 соответствующим подбором коэффициентов усиления всех трех видеоусилителей, подающих телевизионные сигналы на модуляторы кинескопа, то



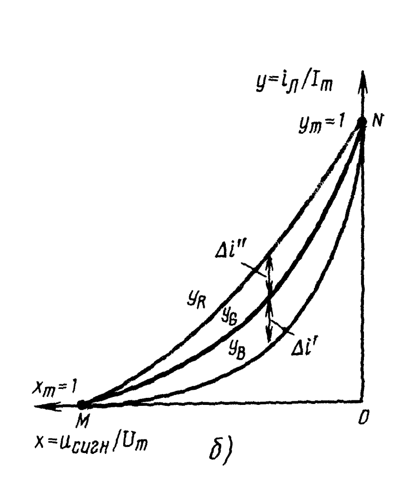


Рис. 4.30. Особенности модуляционных характеристик трехлучевого кинескопа:
а — обычные характеристики; *б* — нормированные характеристики

при совершенно одинаковых изгибах всех трех модуляционных характеристик $i_л=f(u_{сигн})$ можно было бы относительно просто получить хороший статический и динамический баланс белого. Однако реальные модуляционные характеристики имеют различный изгиб, степень которого зависит от разброса параметров электронных прожекторов, напряжений питания и др. Отсюда следует, что при хорошо отрегулированном статическом балансе белого для мгновенного значения телевизионного сигнала, например $U_1=20$ В, его двойное увеличение ($U_2=40$ В) не вызывает пропорционального увеличения всех токов лучей. Это приводит к появлению окраски на изображении, причем цветовой тон и насыщенность такой паразитной окраски будет зависеть от мгновенного значения сигнала, т. е. будет иметь место нарушение динамического баланса белого.

На рис. 4.30*б* изображены нормированные модуляционные характеристики кинескопа. По осям этих характеристик отложены безразмерные величины $y=i_л/I_m$ и $x=u_{сигн}/U_m$. Таким образом, все три характеристики имеют общие точки M и N, причем в точке N для всех лучей $y_m=1$. Эти характеристики удобны тем, что по ним наглядно видна степень нарушения динамического баланса белого. При хорошей коррекции баланса белого нормированные характеристики y_R, y_G и y_B должны совпадать, т. е. значения $\Delta i'$ и $\Delta i''$ должны быть близки к нулю.

Сопряжение всех трех кривых на рис. 4.30*б* по степени изгиба обычно достигается подбором постоянного смещения на модуляторах электронных прожекторов. Величина этого смещения влияет на изгиб. Однако при регулировке смещения точки отсечки U_{0R}, U_{0G} и U_{0B} могут вновь раздвинуться, что приведет к необходимости повторной регулировки напряжений на ускоряющих электродах. Таким образом, регулировка баланса белого осуществляется подбором трех параметров: 1) напряжений питания ускоряющих электродов; 2) напряжений смещения на модуляторах; 3) коэффициентов усиления трех выходных видеоусилителей.

Из изложенного следует, что весьма сложный по своей конструкции трехлучевой кинескоп с теневой маской имеет недостатки: для его правильной работы необходимо использовать ряд дополнительных устройств, помещаемых на его горловине, производить многочисленные регулировки, требующие достаточно высокой квалификации регулировщика. Это регулировки чистоты цвета, статического и динамического сведения лучей, установка магнита синего луча, установка отклоняющей системы вдоль оси трубки, электрическая центровка растра, коррекция подушкообразных искажений растра, регулировка баланса белого.

Кроме того, в цветном телевизоре с дельта-кинескопом имеется устройство размагничивания. Необходимость этого устройства вызвана следующими причинами. Воздействие даже относительно небольших внешних магнитных полей (в том числе и магнитного поля Земли), проникающих в колбу цветного кинескопа, приводят к рассовмещению цветов, к нарушению чистоты цвета. Стальная маска намагничивается этими полями, что и вызывает цветовые искажения. Для уменьшения влияния внешних полей на работу кинескопа применяются специальные меры. Во-первых, конус колбы кинескопа помещается в магнитный экран, изготовленный из магнитно-мягкой стали. Во-вторых, перед началом работы кинескопа в телевизоре автоматически осуществляется предварительное размагничивание теневой маски. С этой целью у боковых стенок магнитного экрана помещаются катушки автоматической системы размагничивания (рис. 4.31 *а*). В эти катушки в

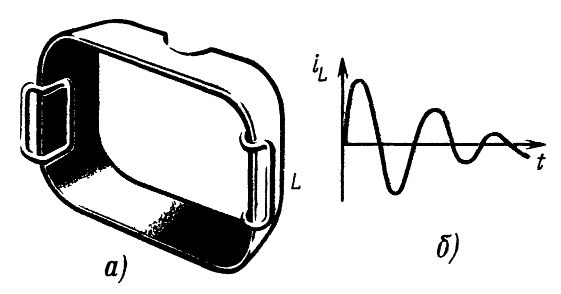


Рис. 4.31. Устранение внешнего подмагничивания кинескопа: *а* — магнитный экран с размагничивающими катушками *L*, *б* — форма тока в размагничивающих катушках

момент включения телевизора подается переменный ток от обмотки сетевого трансформатора. Специальной схемой обеспечивается быстрое убывание амплитуды этого тока (рис. 4.31 *б*). Так устраняется паразитное подмагничивание, возникающее в стальных деталях, окружающих кинескоп внутри и снаружи.

Сложности в наладке и обслуживании трехлучевого масочного кинескопа — его основные недостатки. Кинескоп имеет еще один существенный недостаток — очень малую световую отдачу при преобразовании энергии электронных лучей в световую энергию люминофоров. Причиной этого является наличие цветоделительной (теневой) маски. Отношение площади всех отверстий маски к ее полной площади составляет приблизительно 14%. Вследствие такой небольшой прозрачности маски большая часть мощности электронных лучей рассеивается на ее поверхности и, таким образом, не используется для возбуждения элементов люминофора. Поэтому в кинескопах рассматриваемого типа для получения необходимой яркости свечения экрана приходится существенно увеличивать мощность электронных лучей.

Если в черно-белых кинескопах ток луча и анодное напряжение составляют обычно $i_{\text{л.ч-б}} = 100 \div 150$ мкА, $U_{\text{а.ч-б}} = 16 \div 18$ кВ, то в цветных кинескопах такого же размера они увеличены до $i_{\text{л.цв}} = 600 \div 800$ мкА; $U_{\text{а.цв}} = 22 \div 25$ кВ.

Трехлучевой кинескоп со щелевой маской и компланарной оптикой

Наиболее существенными недостатками дельта-кинескопа являются весьма сложная система динамического сведения лучей и малый коэффициент светоотдачи экрана, связанный с малой прозрачностью цветоделительной маски. Эти недостатки в значительной степени устраняются в новом электронном приборе — цветном кинескопе с компланарным[1] расположением прожекторов и щелевой цветоделительной маской.

Схема такого кинескопа изображена на рис. 4.32 *а*. В горловине кинескопа расположены три прожектора *1*, находящиеся в одной горизонтальной плоскости. Ось среднего прожектора совпадает с осью симметрии кинескопа, оси двух других прожекторов наклонены симметрично относительно оси кинескопа. Разделение цветов, т. е. обеспечение правильного попадания каждого из лучей на люминофорные элементы экрана своего цвета, осуществляется при помощи так называемой щелевой маски *2*. В отличие от маски дельта-кинескопа щелевая маска имеет не круглые отверстия, а вертикальные прорези (щели), которые для механической устойчивости маски имеют горизонтальные перемычки (рис. 4.32*б*).

Компланарное расположение прожекторов и щелевая маска имеют следующие преимущества перед дельтавидным расположением и маской с круглыми отверстиями:

1. Упрощаются условия сведения лучей. В дельта-кинескопе рассогласование лучей, вызванное геометрическими причинами, определяется наклоном и сдвигом каждого из трех прожекторов относительно оси кинескопа как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскостях. Это создает несимметрию рассогласования лучей, что приводит к необходимости формирования несимметричных импульсов тока динамического сведения (состоящих не только из параболических составляющих, но и добавочных пилообразных). В компланарном кинескопе средний луч направлен по оси кинескопа и дает на экране симметричный относительно центра растр, не нуждающийся в сведении. Крайние лучи расположены симметрично относительно среднего и лежат с ним в одной плоскости, что делает рассогласование лучей симметричным и упрощает их сведение.

В большинстве вариантов конструкции компланарного кинескопа в качестве осевого выбирается зеленый луч. Объясняется этот выбор тем, что разрешающая способность зрения в зеленом цвете выше и соответственно искажения по зеленому цвету должны быть сведены к минимуму.

2. В компланарном кинескопе повышается яркость свечения экрана. Это объясняется тем, что щелевая маска более прозрачна, чем маска с круглыми отверстиями. Кроме того, в компланарном кинескопе при сдвиге любого луча по вертикали

---

[1] *Complano* (лат.) — выравнивать.

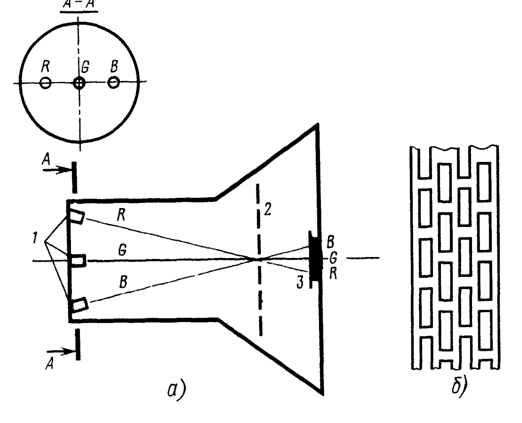


Рис. 4.32. Кинескоп с компланарной оптикой и щелевой маской:
а — эскиз конструкции кинескопа, *б* — фрагмент щелевой маски

он продолжает засвечивать «свою» люминофорную полоску экрана. Таким образом, на поверхности щелевой маски теряется меньшая часть энергии луча, чем в дельта-кинескопах.

3. В компланарном кинескопе улучшается чистота цвета. Поскольку при сдвиге луча в вертикальном направлении он продолжает засвечивать свою люминофорную полоску, все технологические неточности изготовления кинескопа и отклоняющей системы мало отражаются на чистоте цвета. Значительно меньшее влияние оказывает магнитное поле Земли. В компланарных кинескопах так же, как в дельта-кинескопах, применяются магнитные экраны и устройства размагничивания. В результате этого работа компланарных кинескопов мало зависит от воздействия внешних магнитных полей.

В связи с трудностями изготовления щелевой маски первые образцы кинескопов с компланарной оптикой делались с малыми экранами. Такие кинескопы применяются для переносных телевизоров. В настоящее время развитие технологии производства дало возможность выпускать компланарные кинескопы с большими углами отклонения и с большими экранами. Реально предположить, что в ближайшие годы компланарные кинескопы полностью заменят дельта-кинескопы.

В новых компланарных кинескопах используется метод так называемого самосведения электронных лучей, что является большим преимуществом перед дельта-кинескопами, требующими сложных устройств и схем статического и динамического сведения. Системы с самосведением для 90°-ных кинескопов обеспечивают самосведение растров без каких-либо узлов и схем. Для 110°-ных кинескопов используется несложное устройство для коррекции ошибки сведения лучей, возникающей из-за разброса параметров при изготовлении кинескопов и отклоняющих систем.

На рис. 4.33 показано рассовмещение трех изображений прямоугольника на экране компланарного кинескопа. Принципиально новым методом коррекции такого рассовмещения явился подбор конфигурации магнитных полей отклоняющих катушек. Системы, в которых совмещение изображений осуществлено указанным методом, называются системами с самосведением.

Суть самосведения заключается в следующем. Подбором формы отклоняющих катушек и плотности распределения витков создается неравномерное отклоняющее поле. При этом катушки горизонтального отклонения должны создавать подушкообразное поле, что приводит к совмещению лучей по горизонтали. Отметим, что в дельта-кинескопе в связи с тем, что в нем электронные лучи не расположены в одной плоскости, при подушкообразном строчном поле один луч (синий) уходит вниз, чем нарушается совмещение. При отклонении по вертикали в компланарных системах соответствующее поле должно быть бочкообразным. При правильной конфигурации этого поля осуществляется сближение вертикальных линий вплоть до их полного совмещения.

Важную роль при практическом изготовлении систем с самосведением играет точная установка отклоняющей системы на кинескопе. Совмещение изображений в

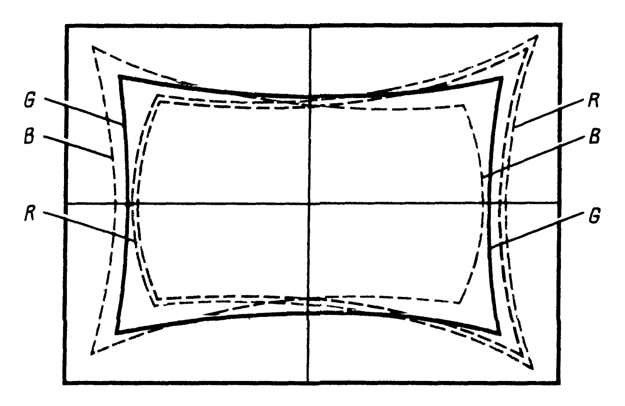


Рис. 4.33. Рассовмещение трех изображений прямоугольника на экране компланарного кинескопа

системах с самосведением может быть надежно обеспечено в производстве лишь при условии полной повторяемости конфигурации магнитного поля отклоняющих катушек, конструктивных размеров кинескопа, при минимальных допусках на установку прожекторов. Для выполнения этих обязательных требований компланарные системы делают достаточно прецизионными.

Поскольку в телевизорах, содержащих компланарные кинескопы, отсутствуют оперативные регулировки для коррекции сведения, на заводе, изготовляющем комплекс отклоняющая система — кинескоп, производится тщательная юстировка отклоняющей системы на кинескопе, для получения оптимальной чистоты цвета и правильного сведения лучей. После такой регулировки отклоняющая система неподвижно крепится (приклеивается) к кинескопу; другие корректирующие магниты (если такие имеются) также фиксируются в оптимальных положениях и в процессе эксплуатации не регулируются.

Нашей радиотехнической промышленностью выпускаются сейчас портативные цветные телевизоры с компланарными кинескопами «Юность Ц-401» (кинескоп 32ЛК1Ц) и «Электроника Ц-430» (кинескоп 25ЛК2Ц).

Глава пятая. ПЕРЕДАЮЩИЕ КАМЕРЫ ЦВЕТНОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ

Основные особенности камер цветного телевидения

Основным отличием камер цветного телевидения от обычных черно-белых является то, что они должны обеспечивать получение нескольких сигналов, необходимых для формирования полного цветового сигнала на выходе кодирующего устройства. Из уравнения $E_y = 0{,}30E_R + 0{,}59E_G + 0{,}11E_B$ следует, что в передающей камере не обязательно формировать все четыре сигнала, поскольку четвертый может быть получен матрицированием. Однако существуют камеры, в которых имеется четыре передающие трубки, формирующие сигналы E_Y, E_R, E_G и E_B. В том случае, когда камера вырабатывает три сигнала, выбор цветовых компонент может быть разным. Наибольшее распространение получили два варианта: 1) когда в камере формируются сигналы E_R, E_G и E_B; при этом сигнал E_Y получается матрицированием; 2) когда формируются сигналы E_Y, E_R и E_B, и сигнал E_G получается матрицированием.

На первый взгляд оба варианта равноценны, поскольку в обоих случаях камера должна содержать одинаковое количество передающих трубок. Однако это не так. Напомним, что во всех совместимых системах в полной полосе частот передается сигнал E_Y, а остальные сигналы передаются в сокращенной полосе. Если широкополосный сигнал E_Y создается матрицированием, то сигналы E_R, E_G и E_B должны формироваться камерой также в полной полосе частот (до 6,5 МГц). Иначе говоря, все каналы камеры типа RGB должны быть широкополосными.

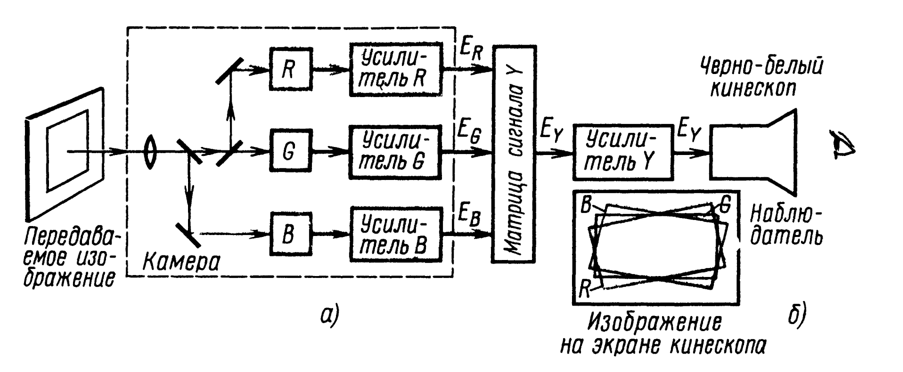


Рис. 5.1 К пояснению необходимости сведения лучей в передающей камере цветного телевидения

В камере YRB формируется один широкополосный сигнал E_Y, сигналы E_R и E_B передаются в полосе частот до 1,5 МГц. В этом случае допустимо формирование сигналов E_R и E_B с помощью передающих трубок, имеющих меньшую разрешающую способность, чем передающая трубка в канале Y. Однако основное преимущество камеры YRB заключается не в снижении требований к передающим трубкам, а в упрощении задачи совмещения трех растров.

Задача совмещения растров поясняется рис. 5.1*а*. Предположим, что передается изображение прямоугольника, образованного черными линиями на белом фоне. С помощью оптической системы камеры передаваемое изображение разделяется на три цветовые компоненты R, G и B, каждая из которых передается отдельной трубкой. Путем матрицирования из сигналов E_R, E_G и E_B может быть получен сигнал E_Y. Если подать E_Y на обычный черно-белый кинескоп, то при правильно настроенной аппаратуре на его экране должно быть получено передаваемое изображение прямоугольника. Однако это возможно лишь в том случае, когда все точки изображений, образуемых каждым из цветовых сигналов E_R, E_G и E_B, совпадают на общем экране кинескопа. Указанное совпадение возможно, если импульсы сигналов с трех передающих трубок поступают на кинескоп в одинаковые моменты времени. Это требование выполняется лишь при тщательной настройке оптических и электронных элементов цветной передающей камеры. На рис. 5.1*б* показано изображение на экране кинескопа, которое получится в том случае, когда растры, образуемые на мишенях передающих трубок каналов R и B, повернуты на некоторый угол относительно растра передающей трубки канала G.

При воспроизведении сигнала E_Y на экране цветного кинескопа образуется три изображения передаваемого объекта в красном, синем и зеленом цветах.

Рассовмещение трех изображений может произойти при неточной центровке растров, различии в размерах, различных законах отклонения лучей и т. п. В камерах типа RGB необходимо обеспечивать исключительно высокую точность совмещения растров передающих трубок [10] — 0,2—0,3 элемента в пределах поля; относительная допустимая погрешность не должна превышать 0,03—0,05% от размеров растра. Если в цветной камере применяются видиконы с диаметром колбы 25 мм, то допустимые смещения отдельных точек растров не должны превышать сотых долей миллиметра.

Для обеспечения совмещения необходимо иметь идентичные передающие трубки, фокусирующе-отклоняющие системы, оптические каналы. Если в процессе настройки удается получить удовлетворительное совмещение изображений следующей задачей является задача сохранения достигнутого совмещения хотя бы на время передачи. Для поддержания неизменности совмещения во времени необходимо добиться высокой стабильности питающих токов и напряжений, а также рационально сконструировать механические детали камеры, поскольку деформация деталей при прогреве может вызвать заметные погрешности в совмещении.

В камере типа YRB допустимая погрешность совмещения растров составляет 0,05—0,1% от размера растра, т. е. в два раза больше, чем в камере типа RGB.

Это объясняется тем, что сигнал яркости формируется здесь отдельной трубкой и, следовательно, качество черно-белого изображения в меньшей степени зависит от точности совмещения.

В четырехтрубочных камерах типа YRGB с раздельным формированием сигнала яркости требования к точности совмещения также ниже, чем в камере RGB, однако наличие четырех трубок значительно усложняет оптическую систему, увеличивает массу и габариты.

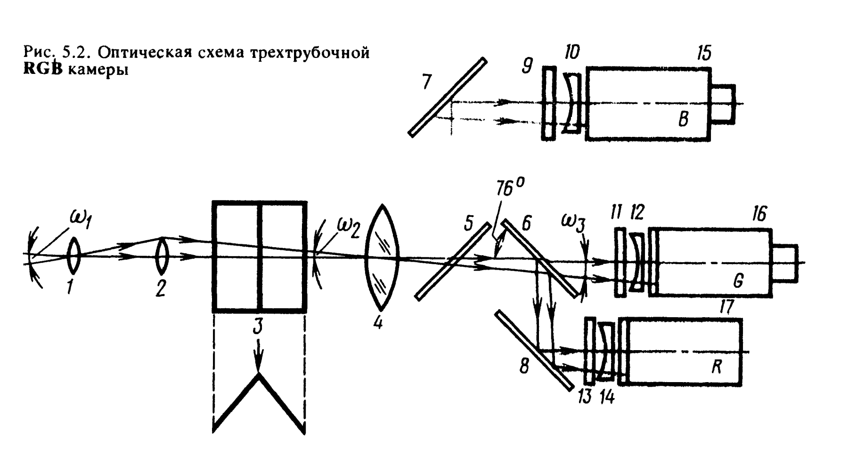
Оптические системы

Оптическая система камеры типа RGB представлена на рис. 5.2*а*. Объектив *1*, расположенный на турели, является сменным. Поворотом специальной рукоятки осуществляется выбор объектива с нужным фокусным расстоянием. Обычно студийная камера содержит объективы с фокусными расстояниями $F = 35$; 50; 85; 135; 200 мм или объектив с переменным фокусным расстоянием (вариообъектив).

Плоскость изображения рассматриваемых объектов находится обычно на расстоянии 29 мм от плоскости турели. Поэтому для получения пространства, необходимого для размещения светорасщепляющих (дихроичных) цветоизбирательных зеркал применяется коллектив [1] *2* и объектив переноса *4*. Коллектив является оптической системой, с помощью которой изображение выходного зрачка основного объектива *1* проецируется в плоскость входного зрачка объектива переноса *4*.

Разделение светового потока на компоненты *R*, *G* и *B* осуществляется двумя дихроическими зеркалами, установленными под углом 76°. Зеркало *5* отражает синюю компоненту *B*, пропускает красную *R* и зеленую *G*. Синие лучи зеркалом *7* направляются на фотокатод передающей трубки. Зеркало *6* пропускает зеленую компоненту на фотокатод соответствующей передающей трубки и отражает красные лучи на зеркало *8*. В процессе расщепления светового потока наблюдаются оптические искажения, для коррекции которых предусмотрены специальные корректирующие элементы, например *3*, служащие для коррекции астигматизма, вносимого цветоизбирательными зеркалами. Известно, что при прохождении через плоскопараллельную пластину расходящегося светового пучка нарушается относительное положение лучей. Это явление, называемое астигматизмом, приводит к тому, что лучи, прошедшие через пластину, не сходятся в одной точке и образуют пятно эллиптической формы. Компенсация астигматизма достигается

Рис. 5.2. Оптическая схема трехтрубочной RGB камеры



[1] Коллектив (лат.) — собирательный.

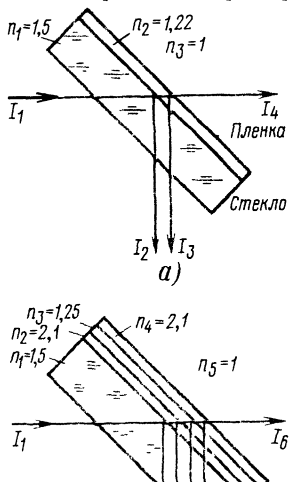
введением пары плоскопараллельных пластин 3, выполненных из того же материала, что и цветоизбирательные зеркала. Пластины корректора астигматизма расположены по отношению друг к другу под тем же углом, что и цветоизбирательные зеркала *5, 6,* и повернуты относительно горизонтальной оси на 90°. Таким образом, если дихроические зеркала смещают световые лучи в горизонтальном направлении, то корректор астигматизма смещает их в вертикальном.

Для получения необходимых спектральных характеристик камеры в сочетании с цветоизбирательными зеркалами используются светофильтры *9, 11* и *13.* Рассеивающие линзы *10, 12, 14,* помещенные между фотокатодами передающих трубок *15—17* и светофильтрами, служат для исправления оптических искажений типа кривизна поля и дисторсия [16].

Рис. 5.3. Оптическая схема четырехтрубочной YRGB камеры

Оптические системы с переносом изображения имеют много компонент, отличаются сложностью и создают большие потери света. В последнее время все большее применение находят призменные светоделительные блоки, которые удачно сочетаются с малогабаритными передающими трубками — плюмбиконами и видиконами.

На рис. 5.3 показана оптическая система четырехтрубочной камеры типа YRGB. Световой поток, пройдя через вариообъектив *1* и через нейтральный светофильтр *2* (который используется при избытке света), поступают на призменный светоделительный блок *3.* Расщепление светового потока осуществляется с помощью светоделительных слоев, нанесенных на грани призм. Вследствие цветоизбирательного отражения и пропускания на светочувствительных слоях передающих трубок *4* образуются цветоделенные изображения. Светофильтр *5,* корректирующие спектральные характеристики оптических каналов, нанесены на



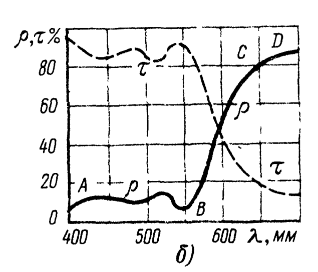


Рис. 5.4. Устройство и работа дихроичного зеркала:
а — зеркало с одной пленкой; *б* — зависимость отражения τ и пропускания τ от длины волны света, *в* — зеркало с многослойной пленкой

грани призм 3. Линзы 6 корректируют оптические искажения, возникающие в светоделительном блоке.

Устройство дихроичных зеркал поясняется рис. 5.4*а*. Хорошо отполированное стекло покрывается тонкой прозрачной пленкой диэлектрика. Белый луч I_1, попадая на зеркало, частично отражается (лучи I_2 и I_3) и частично проходит через него (I_4). В зависимости от толщины пленки, коэффициентов преломления стекла n_1 и пленки n_2 лучи, отраженные от границы стекло-пленка (I_2) и пленка — воздух (I_3), могут в зависимости от длины волны, т. е. цвета, оказаться либо в фазе, либо в противофазе, либо в промежуточном состоянии. Это означает, что их энергия может либо складываться, либо частично или полностью взаимно компенсироваться. Таким образом, интенсивность отраженного света зависит от длины волны. Типичные графики зависимости коэффициента отражения $\varrho = (I_2 + + I_3 / I_1$ и коэффициента пропускания $\tau = I_4 / I_1$ представлены на рис. 5.4*б*. Как видно из этих графиков, сумма прошедшего и отраженного света примерно (с точностью до потерь) равна падающему на зеркало свету: $\varrho + \tau = 1$.

Для лучшей цветовой избирательности дихроичного зеркала нанесенная на него пленка делается многослойной (рис. 5.4*в*). Подбором коэффициентов преломления в этих пленках, их толщины и порядка расположения удается добиться значительно лучшей зависимости коэффициентов отражения ϱ и пропускания τ от длины волны, т. е. большей крутизны среза на участке *BC* (рис. 5.4*б*) и лучшей равномерности характеристики на участках пропускания *AB* и отражения *CD*.

Передающие трубки

В камерах цветного телевидения к передающим трубкам предъявляется ряд особых требований. Рассмотрим основные из них.

1. *Получение точного совмещения растров.* Для решения этой задачи необходимо обеспечить высокую идентичность геометрических параметров изображений, получаемых с различных трубок. Выполнение данного требования возможно лишь при чрезвычайно точном выполнении как самой передающей трубки, так и фокусирующе-отклоняющей системы.

2. *Индентичность характеристик преобразования свет — сигнал* трех каналов. При расхождении указанных характеристик более чем на 2% камера цветного телевидения не обеспечивает правильного воспроизведения белого цвета. При перемещении камеры относительно объекта передачи (панорамирование), сопровождающемся изменением освещенности фотокатода трубки, в случае отсутствия идентичности световых характеристик будет наблюдаться изменение цвета телевизионного изображения.

3. *Высокая однородность сигнала по полю и одинаковая чувствительность на всех участках мишени.* Невыполнение данного требования приводит к появлению неоднородности цвета и окрашенных пятен на изображении.

4. *Высокая чувствительность трубки во всем видимом спектре.* Выполнение этого требования необходимо, поскольку в камерах цветного телевидения имеются большие световые потери в светорасщепительной оптике при делении светового потока на три компоненты.

5. *Малая инерционность процесса преобразования свет—сигнал и идентичность характеристик инерционности для всех передающих трубок камеры.* Выполнение этого требования позволяет передавать подвижные сцены. Как известно, в некоторых типах передающих трубок, накопленный на мишени потенциальный рельеф не считывается за один цикл развертки. В результате в сигнале любого кадра имеется остаток сигнала предыдущего кадра. Этот сигнал называется остаточным. Если величины остаточных сигналов трубок камеры различаются больше чем на 2%, в изображении появляются разноцветные тянущиеся продолжения.

Помимо указанных особых требований, к трубкам передающих камер цветного телевидения предъявляются общие требования, выполнение которых желательно и для камер черно-белого телевидения. К ним следует отнести высокую разрешающую способность, малый уровень собственных шумов, малые габариты, простоту управления. Однако в камерах цветного телевидения, в которых используется несколько передающих трубок, выполнение данных требований имеет большое значение.

Всем указанным требованиям в наибольшей степени удовлетворяют передающие трубки типа видикон и плюмбикон. Видиконы применяются в камерах цветного телевидения, выпускаемых в СССР, США, Японии. Так, в четырехтрубочной камере КТ-104 применяются один видикон типа ЛИ418 и три видикона типа ЛИ421.

Видиконы при использовании в телевидении имеют следующие недостатки: характеристика свет—сигнал изменяется при изменениях освещенности, что вызывает трудности в обеспечении баланса белого, наблюдается значительная неравномерность уровня белого по полю и, как следствие, нарушение однородности цвета в изображении.

Широкое применение в камерах цветного телевидения нашли плюмбиконы. Плюмбикон имеет высокую разрешающую способность, стабильную характеристику свет—сигнал, малую инерционность (остаточный сигнал не превышает 5% от основного сигнала), высокую однородность сигнала по полю [1].

В настоящее время в камерах цветного телевидения находят применение передающие трубки типа кремникон. Кремникон имеет высокую чувствительность, большой световой динамический диапазон, повышенную температурную стойкость мишени. Спектральная характеристика кремникона охватывает весь видимый диапазон спектра.

Успехи, достигнутые в разработках приборов с зарядовой связью (ПЗС), позволяют считать, что в недалеком будущем они заменят вакуумные трубки в высококачественных камерах цветного телевидения.

Автоматическое совмещение растров

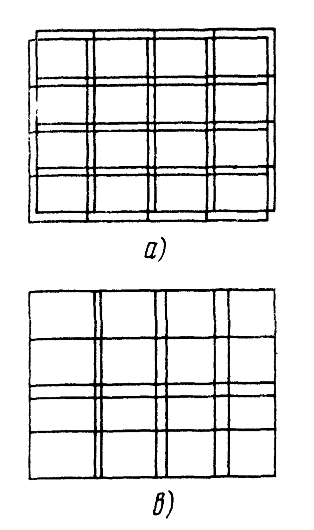
Точное совмещение растров в камерах цветного телевидения и сохранение его в процессе работы является сложной задачей. Точное совмещение возможно лишь при высокой идентичности растров передающих трубок, что достигается подбором самих трубок и отклоняюще-фокусирующих систем.

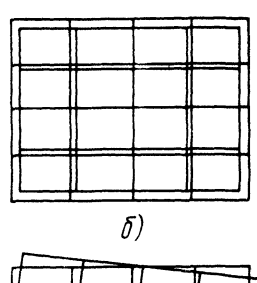
В камерах типа RGB совмещение растров должно осуществляться с точностью 0,2—0,3 элемента (допустимая погрешность 0,03—0,05% от размера растра), в камерах YRGB и YRB допустима бóльшая погрешность, составляющая 0,05—0,1%. Несмотря на более высокие требования к совмещению растров камеры типа RGB широко применяются на практике, поскольку имеют бóльшую точность цветопередачи, более высокую чувствительность, относительно простую оптическую систему. Основной недостаток камер RGB, связанный со сложностью совмещения растров, в новейших камерах устраняется применением системы автоматического регулирования, управляющей совмещением растров.

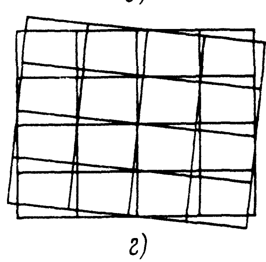
Применение системы автоматического совмещения растров позволяет избавиться от трудоемкой операции по выполнению ручной регулировки, а также обеспечить точное сохранение совмещения во времени.

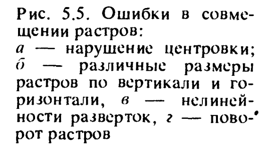
Неточность и нестабильность совмещения растров вызывают многие факторы. К основным из них следует отнести: неидентичность параметров элементов оптической системы камеры, передающих трубок и фокусирующе-отклоняющих систем, нестабильность питающих напряжений, температурные и механические воздействия, электрические и световые режимы передающих трубок, потенциальный рельеф мишени. Влияние потенциального рельефа мишени на траекторию и форму развертывающего луча объясняется малой скоростью движения электронов в районе мишени. Геометрические искажения могут создаваться вследствие неравномерности магнитного поля вблизи мишени, налетом фотопроводящего вещества на элементах конструкции трубки, образовавшегося при изготовлении мишени и зарядившегося под действием осевших электронов. Нерабочие участки мишени, не коммутируемые электронным лучом, обычно имеют более высокий средний потенциал (чем коммутируемые участки мишени), близкий к потенциалу сигнальной пластины. При изменении напряжения на сигнальной пластине наблюдается изменение траектории электронов на краях растра. Для уменьшения возможного рассовмещения растров на краях в камерах цветного телевидения обычно поддерживают одинаковые значения напряжения на сигнальных пластинах трубок.

К системе автоматического совмещения растров предъявляются следующие требования: обеспечение бесперебойной работы аппаратуры при сохранении высокой точности совмещения; обеспечение быстродействия регулировки; достаточно








Рис. 5.5. Ошибки в совмещении растров:
а — нарушение центровки; *б* — различные размеры растров по вертикали и горизонтали, *в* — нелинейности разверток, *г* — поворот растров

широкий диапазон регулировки; высокая помехоустойчивость; устойчивость работы при смене сюжетов; возможность отключения системы при проведении необходимых ручных регулировок; небольшие габариты, масса, малое потребление электроэнергии.

Выбор параметров, подлежащих регулировке системой автоматического совмещения, зависит от конкретного типа камеры. В настоящее время удается автоматизировать практически все регулировки, которые необходимо выполнить при настройке совмещения: центровку, регулировку размеров, линейности растров в каждом канале, а также их взаимный поворот. Характерные ошибки совмещения двух растров показаны на рис. 5.5*а*—*г*.

Для обеспечения автоматического совмещения растра в камерах цветного телевидения необходимо знать сигнал ошибки, характеризующий величину рассовмещения, а также направление, в котором нужно осуществлять регулировку. После необходимых преобразований и усиления сигнал ошибки подается на исполнительный механизм, осуществляющий регулировку. Основные трудности построения системы автоматической регулировки обычно связаны с получением сигнала ошибки.

В настоящее время известны три метода получения информации о погрешностях совмещения растров: метод проекции специальной испытательной таблицы на мишень передающей трубки в перерывах передачи; метод, основанный на использовании оптических реперов[1]; метод, основанный на выделении необходимой информации из видеосигнала.

Первый метод позволяет осуществить автоматическое совмещение в перерывах передачи, для чего на мишени трех трубок проецируется специальное изображение с помощью встроенного в камеру диапроектора. После совмещения растров испытательное изображение снимается, а система автоматического регулирования отключается. Исполнительные устройства должны зафиксировать найденные значения регулируемых параметров и сохранить их в течение передачи. Наиболее распространенным исполнительным элементом в камерах цветного телевидения является электродвигатель с редуктором, с помощью которого регулируется положение движка потенциометра. После остановки двигателя положение движка оказывается зафиксированным. Недостатком данного метода является невозможность регулировки в процессе передачи, а также вероятность рассовмещения растров за время между двумя регулировками.

Второй и третий методы позволяют осуществлять совмещение растров и автоматически поддерживать полученное совмещение во время передачи, что является

[1] Репер (фр.) — знак, служащий поверочной точкой.

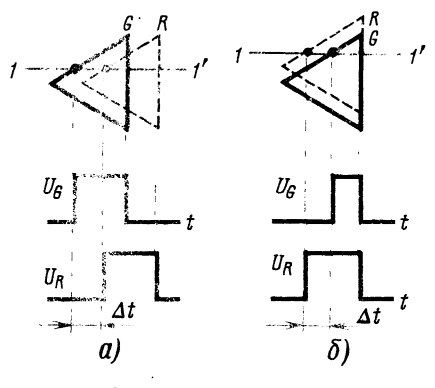


Рис. 5.6. Формирование сигналов ошибки с помощью реперных знаков треугольной формы

их важным достоинством. Однако практическая реализация этих методов оказывается более сложной.

Рассмотрим принципы получения сигнала ошибки в системах автоматического совмещения растров, основанные на применении реперов. Форма реперных знаков может быть различной. На рис. 5.6 показаны реперные знаки треугольной формы, которые проецируются на мишени передающих трубок. Обычно знаки представляют собой белые отметки на черном поле. Для удобства пояснения процесса образования сигнала на рис. 5.6 показаны лишь формы реперных знаков.

При регулировке положение одного из реперных знаков (например, на мишени передающей трубки канала *G*) принимается за эталонное. Растры в каналах *R* и *B* подстраиваются до совмещения с растром канала *G*. При развертке строк *1—1'* (рис. 5.6*а*) на выходах трубок, передающих зеленую и красную компоненты изображения, образуются импульсы U_G и U_R. Временной сдвиг между фронтами импульсов, равный Δt, пропорционален рассовмещению растров в горизонтальном направлении. Аналогично с помощью тех же реперных знаков может быть получена информация о рассовмещении растров в вертикальном направлении, как это показано на рис. 5.6*б*. Для получения необходимой информации о рассовмещении растров каналов *B* и *G* используются сигналы U_B и U_G.

Дальнейшая обработка сигналов заключается в выделении методом стробирования нужной строки растра, сравнении сигналов, выработке сигнала ошибки и его накоплении. Накопление в схеме автоматического совмещения растров необходимо для предотвращения срабатывания системы от случайных одиночных помех.

Обычно испытательное изображение содержит несколько реперных знаков, расположенных в разных частях растра. Сравнение сигналов от разных реперных знаков позволяет получить всю необходимую информацию и сформировать сигнал ошибок. Регулировки отдельных параметров при совмещении растров являются независимыми (например, центровки по горизонтали и вертикали), поэтому все операции при настройке можно осуществлять одновременно. Одновременность действия регулировок сокращает общее время настройки, однако усложняет схему камеры, поскольку во всех каналах камеры приходится дублировать такие узлы, как анализаторы сигналов ошибки, блоки преобразования сигналов ошибки в управляющие сигналы, усилители. При последовательной настройке (она может осуществляться в той же последовательности, что и при ручном способе) возрастает время, необходимое на регулировку, однако существенно упрощается аппаратура и увеличивается надежность. В этом случае отдельные узлы аппаратуры применяются для управления несколькими параметрами.

Для получения автоматического управления совмещением растров во время передачи реперные знаки проецируются на нерабочую часть мишени передающей трубки, которая не используется в образовании полезного сигнала, но развертывается электронным лучом. Напомним, что соотношения между интервалами обратного хода и активной частью строки и кадров в передающей камере и в телевизионном приемнике различны. На рис. 5.7 показаны сигнал отдельной строки, получаемый с передающей трубки (рис. 5.7*а*), и сигнал приемника (рис. 5.7*б*). Длительность гасящих импульсов передающей трубки меньше длительности гасящих импульсов, подаваемых на кинескоп, на $\Delta t = \Delta t_1 + \Delta t_2$. Такое различие в длительности гасящих импульсов делается потому, что при прохождении по кабелю от синхрогенератора до камеры и от камеры (вместе с видеосигналом) до аппаратной их форма искажается. Для того чтобы на телевизионный приемник поступал неискаженный сигнал, гасящие импульсы передающей трубки замещаются более продолжительными гасящими импульсами приемной трубки. Аналогично поступают и с кадровыми гасящими импульсами.

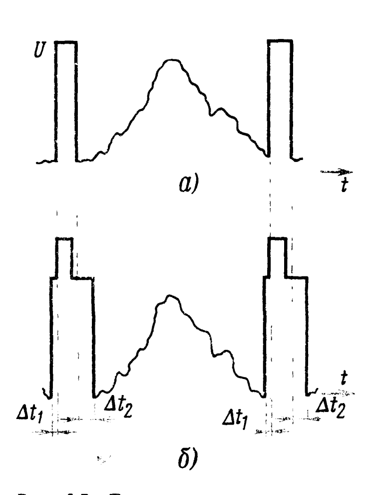


Рис. 5.7. Телевизионные сигналы отдельной строки изображения

Рис. 5.8. Расположение оптических реперов на мишени передающей трубки

Из рис. 5.7 видно, что сигнал, образующийся на краях растра (в интервалах Δt_1 и Δt_2), не используется. Аналогично не используется видеосигнал от части строк, расположенных в верхней и нижней частях кадра. Участки мишени, развертываемые электронным лучом, но не используемые для передачи изображения, служат для получения информации о рассовмещении растров с помощью оптических реперов.

Один из вариантов расположения оптических реперов на мишени передающей трубки показан на рис. 5.8. Для удобства объяснения на рис. 5.8 масштабы нарушены, и реперные знаки сильно увеличены. В действительности разница в площадях развертываемого растра *1* и его активной части *2* значительно меньше. Оптические реперы проецируются на левую *3* и нижнюю *4* части мишени (*5—8* — стробирующие импульсы, см. далее).

При развертке оптические реперы *3* и *4* создают импульсные сигналы в трех каналах камеры. Поскольку эти сигналы лежат в интервале Δt_2 (рис. 5.7), они непрерывно передаются, но не воспроизводятся на экранах приемников. Левый оптический репер *3* образует импульсные сигналы *3* (рис. 5.9*а*), расположенные в начале строки, а нижний оптический репер *4* — импульсы *4* в середине строк, относящихся к нижней части растра (на рис. 5.9 для сокращения длины и для нагляд-

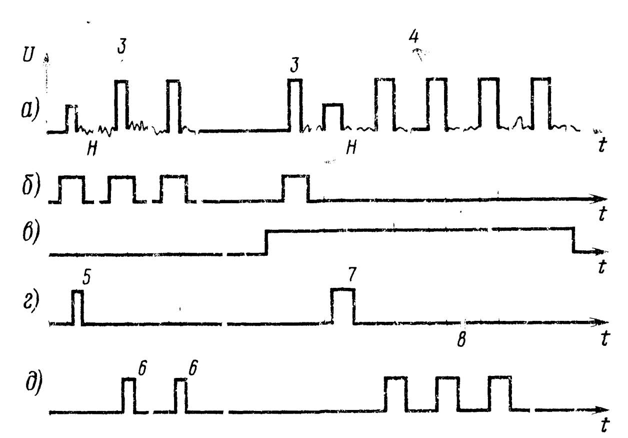
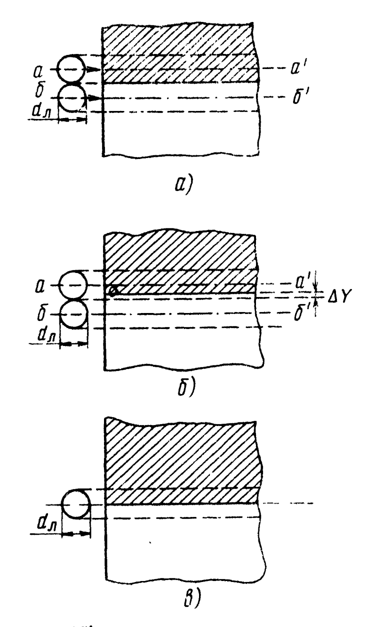


Рис. 5.9. Сигналы, образуемые реперными знаками: *а* — сигнал с выхода передающей трубки; *б* — гасящие импульсы строчной частоты; *в* — гасящие импульсы кадровой частоты; *д*, *г* — стробирующие импульсы

Рис. 5.10. Возможные варианты расположения реперного знака относительно сечения считывающего луча



ности введено изменение масштаба вдоль оси времени). Импульсы *3* используются для управления центровкой по вертикали и амплитудой горизонтальной развертки, импульсы *4* — для регулировки центровки по горизонтали и амплитуды развертки по вертикали.

На рис. 5.9*а* видно, что первые импульсы серии *3* и *4* имеют меньшее напряжение, чем последующие. Это объясняется следующими причинами. Во-первых, верхняя горизонтальная граница оптического реперного знака не является идеально резкой из-за ограниченной разрешающей способности оптики. Во-вторых, из-за конечного размера поперечного сечения развертывающего луча передающей трубки возможно считывание верхней границы реперного знака краем луча. На рис. 5.10 показаны возможные случаи расположения реперного знака относительно считывающего луча, имеющего диаметр $d_п$. В первом случае при развертке строки *аа'* луч располагается вне реперного знака. При переходе на строку *бб'* сигнал сразу достигает максимальной величины, поскольку весь луч перемещается вдоль границы репера.

В случае, изображенном на рис. 5.10*б* (когда растр смещен вниз по сравнению с рис. 5.10*а* на ΔY), при развертке строки *аа'* возникает импульс, однако его напряжение будет меньше максимально возможного значения. Следующий импульс, при развертке строки *бб'* будет иметь максимальное значение. Таким образом, смещение растра в вертикальном направлении относительно верхней горизонтальной границы репера вызывает изменение величины напряжения первого импульса. Если принять за эталонное такое положение растра относительно репера, когда центр луча точно совпадает с горизонтальной границей (рис. 5.10*в*), то напряжение первого импульса в сигнале будет составлять 50% от максимально возможного значения. При смещении растра вниз напряжение импульса уменьшится, а при смещении вверх увеличится. Таким образом, первый импульс из серии *3* (рис. 5.9*а*) несет информацию как о величине ошибки, так и о ее знаке. Аналогично используются импульсы сигнала *4* (рис. 5.9*а*) от репера *4*, расположенного в нижней части мишени.

Помимо импульсов, образующихся вместе с полезным сигналом, при данном методе регулирования используются импульсы, вырабатываемые специальным

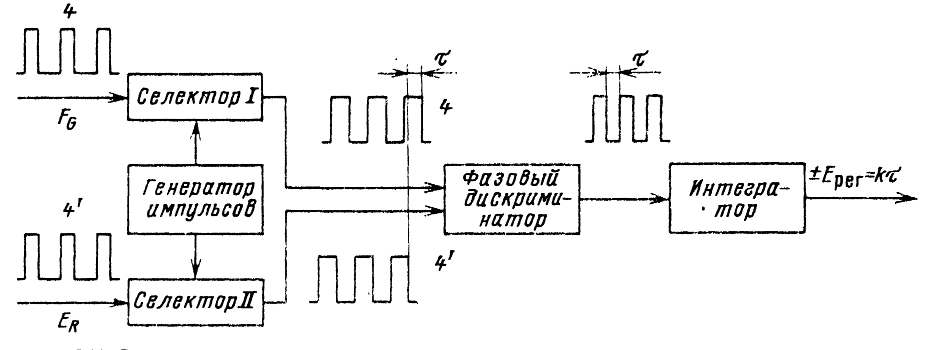


Рис. 5.11. Структурная схема автоматического управления центровкой растра по вертикали

генератором, входящим в состав аппаратуры. Эти импульсы служат для выделения (методом стробирования) сигналов репера. Временное расположение стробирующих импульсов *5* и *7*, используемых для выделения первых импульсов из серии *3* и *4*, показано на рис. 5.9*г*. Для сравнения на рис. 5.9*б* и *в* показаны гасящие импульсы кадровой и строчной частоты.

Кроме указанных импульсов, генератор вырабатывает сигналы *6* и *8* (рис. 5.9*д*), которые служат для выделения остальных импульсов, получаемых от реперов. Расположение стробирующих импульсов по отношению к растру показано на рис. 5.8 (заштрихованные участки).

Структурная схема системы автоматического управления центровкой растров по вертикали представлена на рис. 5.11. Сигналы с двух каналов камеры (например, G и R) поступают на два селектора. С их помощью из сигналов E_G и E_R выделяются группы импульсов *4* и *4'* (рис. 5.11). С выходов селекторов эти импульсы, сдвинутые относительно друг друга на время π (вследствие рассовмещения растров), поступают на фазовый дискриминатор, который вырабатывает импульсы длительностью π. Длительность импульсов изменяется пропорционально сдвигу сигналов. При $\pi = 0$ сигнал на выходе фазового детектора отсутствует. Выделенная с помощью интегратора постоянная составляющая $\pm E_{рег} = k\pi$ является сигналом ошибки. Аналогично работают схемы управления другими регулировками.

Структурная схема трехтрубочной камеры цветного телевидения

Структурная схема трехтрубочной камеры представлена на рис. 5.12. Оптико-механический блок состоит из оптической системы, механизмов фокусировки и переключения объективов. В оптико-механическом блоке могут быть применены вариообъективы. Так, в камере КТ-132 предусмотрено применение вариообъектива «Радуга» для студийных и «Сокол-М» для внестудийных передач. Вариообъектив «Радуга» обеспечивает десятикратное изменение фокусного расстояния, а «Сокол-М» двадцатикратное.

Передающие трубки жестко связаны с оптико-механическим блоком, чтобы при нагреве или охлаждении камеры, а также при ее перемещениях оптические изображения на мишенях не смещались и находились в фокусе. С выходов трубок сигналы поступают на предварительные усилители. Далее сигналы E_R, E_G и E_B поступают в многожильный камерный кабель, с помощью которого они подаются на вход видеоканала в аппаратной. Отклоняющие токи формируются в блоках строчной и кадровой разверток. Эти токи поступают в отклоняющие катушки через схему совмещения растров.

Для гашения электронного луча в передающих трубках во время обратного хода разверток в камере предусмотрен блок формирования гасящих импульсов. Гасящие импульсы формируются из импульсов синхронизации кадровой и строчной частоты.

Для правильной компоновки кадра, а также для настройки камеры используется электронный видоискатель, выполняемый обычно на малогабаритном черно-белом кинескопе.

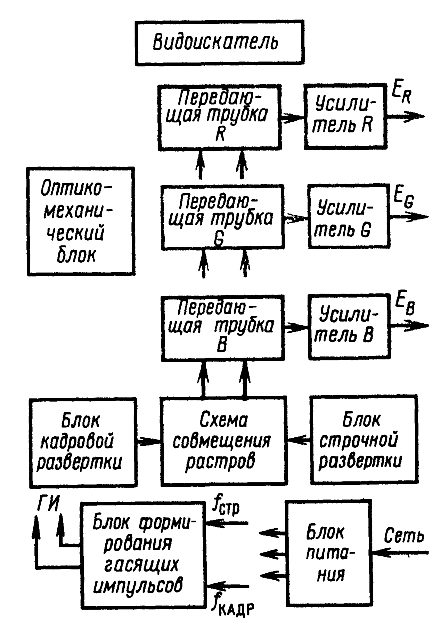


Рис. 5.12. Структурная схема трехтрубочной камеры цветного телевидения

Кроме перечисленных основных блоков, в камере имеются блоки питания, состоящие из стабилизаторов напряжения, стабилизаторов токов, фокусирующих катушек передающих трубок, источников высокого напряжения. В передающих камерах предусматривается аппаратура телефонной связи оператора с режиссером, сигнализация включения камеры на передачу, блок управления вариообъективом.

Примером трехтрубочной камеры цветного телевидения может служить камера типа КТ-132. Схема и конструкция камеры рассчитаны на высокую стабильность параметров, простоту и удобство эксплуатации. Камера обеспечивает получение отношения сигнал/шум не хуже 41 дБ при освещенности объекта 1000 лк. В качестве передающей трубки применяется плюмбикон диаметром 30 мм. Применение печатных плат кассетного типа и интегральных микросхем позволило сконструировать современную камеру габаритами 290 × 365 × 790 мм и массой 35 кг.

Двухтрубочные и однотрубочные камеры цветного телевидения

Наряду с трех- и четырехтрубочными камерами в цветном телевидении продолжают совершенствоваться упрощенные камеры, в которых применяется две или одна передающая трубка. Интерес к малотрубочным камерам объясняется тем, что эти камеры имеют сравнительно малую массу и габариты, что создает определенные удобства при эксплуатации. Однако они уступают многотрубочным камерам в качестве изображения. По этой причине область применения малотрубочных камер ограничивается пока репортажными комплексами и установками прикладного назначения.

В двухтрубочных камерах яркостный сигнал и сигналы цветности формируются разными трубками. Оптическая схема одного из вариантов построения двухтрубочной камеры показана на рис. 5.13 [14]. Передаваемое изображение с помощью объектива *1* проецируется через полупрозрачное зеркало *4* на фотокатод передающей трубки *2*. Эта трубка формирует сигнал яркости. Часть светового потока отражается от полупрозрачного зеркала и достигает фотокатода передающей трубки *3*, с помощью которого формируются цветовые сигналы. Перед фотокатодом передающей трубки *3* устанавливаются два фильтра: дихроичный *5*, не пропускающий зеленые лучи, и штриховой цветоделительный *6*. Цветоделительный фильтр состоит из чередующихся прозрачных полосок и полосок, задерживающих, например, красную компоненту. Полоски ориентированы перпендикулярно строкам растра.

Образование цветовых сигналов поясняет рис. 5.14. Дихроичный фильтр задерживает зеленые лучи. Штриховой цветоделительный фильтр (рис. 5.14*а*) через прозрачные полоски пропускает оставшиеся красную и синюю компоненты на мишень трубки. Кроме того, отдельные участки цветоделительного фильтра задерживают красную компоненту.

Для упрощения рассмотрения устройства предположим, что апертурные искажения в трубке отсутствуют, а на ее мишень проектируется равномерное белое поле. В этом случае сигнал на ее выходе U_1 примет вид прямоугольных импульсов, пока-

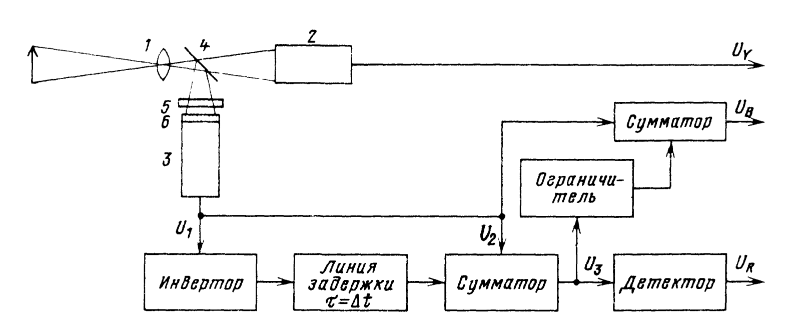
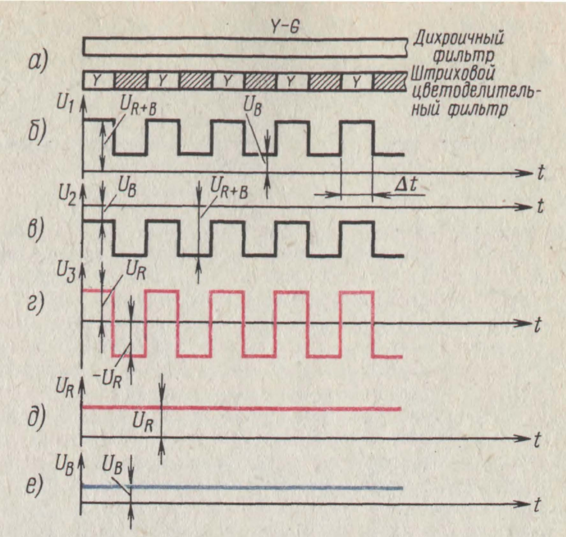


Рис. 5.13. Структурная схема двухтрубочной камеры цветного телевидения

Рис. 5.14. Образование сигнала в двухтрубочной камере цветного телевидения



занных на рис. 5.14*б*. Максимальное значение сигнала U_{R+B} образуется на тех участках строки, которые находятся напротив прозрачной полоски, и здесь световая энергия максимальна. Минимальное значение напряжения сигнала создается при развертке синей компоненты.

Разделение сигналов U_B и U_{R+B} может осуществляться различными способами, например, путем временного стробирования или синхронного детектирования и др. Рассмотрим наиболее простой способ, основанный на задержке полученного сигнала на время Δt, равное времени развертки одной вертикальной полоски. Задержанный на Δt сигнал U_2 с измененной полярностью показан на рис. 5.14*в*. В результате сложения сигналов U_1 и U_2 получим сигнал U_3 (рис. 5.14*г*), содержащий U_R и $-U_R$. После детектирования образуется сигнал U_R. На функциональной схеме камеры (рис. 5.13) показаны узлы, участвующие в получении сигнала U_R: инвертор, линия задержки, смеситель и детектор. Сигнал U_B может быть сформирован из сигнала U_1 вычитанием из него импульсов положительной полярности сигнала U_3. Для этого (рис. 5.13) сигнал U_3 подается на ограничитель, отделяющий импульсы положительной полярности, и затем на вычитающее устройство. После вычитания указанных импульсов из сигнала U_1 образуется сигнал U_B. Формирование сигнала U_G можно осуществить матричным способом из U_Y, U_B и U_R.

Получение трех цветовых сигналов с одной передающей трубки обычно достигается применением метода оптического кодирования [5]. Этот метод рассмотрим на примере работы устройства, показанного на рис. 5.15. Устройство состоит из



Рис. 5.15. Светофильтр однотрубочной камеры цветного телевидения

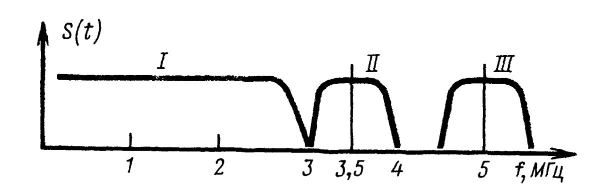


Рис. 5.16. Спектр сигнала на выходе однотрубочной камеры цветного телевидения

двух светофильтров. Один из них представляет собой ряд чередующихся прозрачных и желтых полос (штрихов), расположенных перпендикулярно строкам изображения. Второй светофильтр состоит из чередующихся наклонных прозрачных и голубых полос. Плоскопараллельные стеклянные пластины с нанесенными на них полосами склеиваются так, чтобы угол между желтыми и голубыми полосами составлял 45°. Ширина штрихов обычно составляет не более 25 мкм. Вследствие наклонного расположения голубых полос их протяженность вдоль развертываемой строки оказывается несколько большей, чем желтых.

При развертке строки (ось x на рис. 5.15) луч последовательно проходит следующие участки: белый, желтый, голубой, зеленый. Белый цвет от передаваемого объекта проходит через те перекрывающиеся участки светофильтров, которые являются прозрачными. Перекрывающиеся желтые и голубые участки светофильтров поглощают из белого цвета красные и синие компоненты (напомним, что желтый светофильтр иногда называют «минус синий», а голубой — «минус красный»). В табл. 5.1 перечислены цвета участков и соответствующие им цветовые компоненты на выходе фильтра.

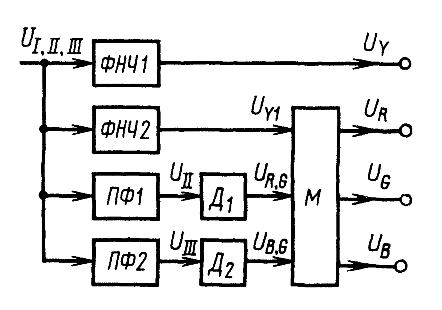


Рис. 5.17. Структурная схема формирования цветовых сигналов в однотрубочной камере цветного телевидения

Таблица 5.1

Цвет участка	Цветовые компоненты на выходе фильтра
Белый	$R+G+B$
Желтый	$R+G$
Голубой	$B+G$
Желтый+голубой	G

Как видно из таблицы, зеленый цвет передается непрерывно на протяжении всей строки, а красный и синий передаются на отдельных участках. При таком построении фильтра участки, содержащие R и B, чередуются, причем первые шире вторых. Спектр образующегося сигнала показан на рис. 5.16. Здесь участок спектра I содержит сигнал яркости U_Y, участок II сигнал $U_{R,G}$ — смесь красного и зеленого и участок III сигнал $U_{B,G}$ — смесь синего и зеленого. Величины поднесущих частот, с помощью которых передаются сигналы $U_{R,G}$ и $U_{B,G}$, определяются геометрическими размерами оптического фильтра. Например, в однотрубочной камере, работающей на видиконе «Spectraplex» (США), поднесущие частоты равны 3,5 и 5 МГц.

Структурная схема устройства формирования цветовых сигналов R, G и B показана на рис. 5.17. Сигнал U_Y формируется с помощью ФНЧ1, выделяющего спектральные компоненты в области частот до 3 МГц. С помощью полосовых фильтров ПФ1 и ПФ2 выделяются модулированные сигналы U_{II} и U_{III}, которые после детектирования (детекторы $Д_1$ и $Д_2$) поступают на матрицу. Поскольку цветовые сигналы $U_{B,G}$ и $U_{R,G}$ являются узкополосными, сигнал яркости U_Y, подаваемый на матрицу, формируется с помощью ФНЧ2, ограничивающего его полосу до 0,5 МГц. В матрице M осуществляется вычитание из сигнала U_{Y1}, содержащего компоненты R, G и B, сигналов $U_{R,G}$ (образуется U_B) и $U_{B,G}$ (образуется U_R). Сигнал U_G образуется из U_{Y1} вычитанием U_R и U_B.

Передающие камеры цветного телевидения на приборах с зарядовой связью

Развитие оптоэлектроники позволяет выполнить передающие камеры цветного телевидения без вакуумных передающих трубок на базе приборов с зарядовой связью (ПЗС). Основные преимущества таких камер заключаются в большей надежности, стабильности работы, отсутствии необходимости совмещения растров, меньшей массе и габаритах, высокой механической прочности. Настройка совмещения сводится к юстировке оптики при изготовлении камеры.

Работа ПЗС в телевизионной камере состоит из трех циклов: преобразование световой энергии в зарядовые пакеты, хранение зарядовых пакетов и их последовательная передача на выход устройства.

Рассмотрим работу формирователя сигналов изображения (ФСИ) на ПЗС в режиме хранения и передачи зарядов на примере сдвигового регистра. Прибор с зарядовой связью имеет трехслойную МДП-структуру (металл-диэлектрик-полупроводник). Металлические электроды выполнены в виде полосок на общей полупроводниковой подложке. На рис. 5.18 изображен прибор с проводимостью подложки типа *n*. Металлические электроды изолированы, поскольку между ними и слоем полупроводника имеется диэлектрик.

Принцип действия ПЗС заключается в следующем. Если к любому металлическому электроду приложить отрицательное напряжение, то под действием возникающего электрического поля электроны, являющиеся основными носителями заряда в подложке, уходят от поверхности в глубь полупроводника. Обедненная область у его поверхности представляет собой потенциальную яму для неосновных носителей-дырок. Попадающие в эту область дырки притягиваются к границе раздела диэлектрик-полупроводник и собираются в узком приповерхностном слое. Если теперь к соседнему электроду приложить отрицательное напряжение большой амплитуды, то образуется более глубокая потенциальная яма и дырки переходят в нее. Прикладывая к различным электродам ПЗС необходимые управляющие

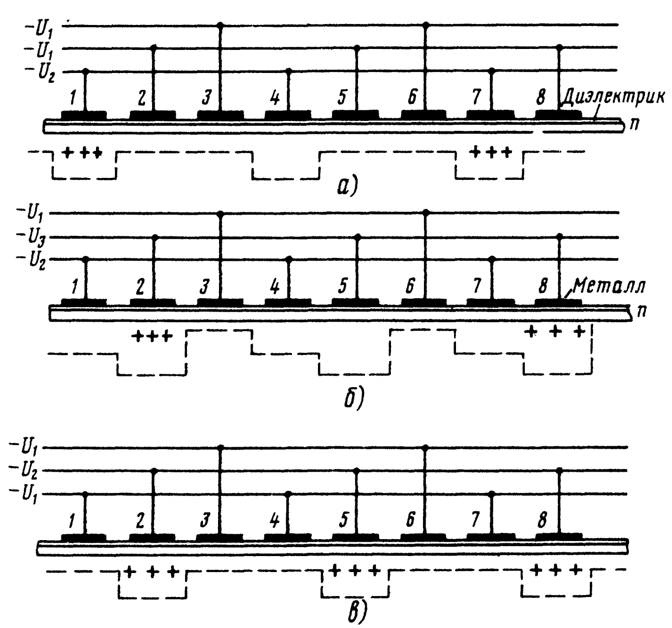


Рис. 5.18. Перемещение зарядов в формирователе сигнала изображения под воздействием управляющего сигнала

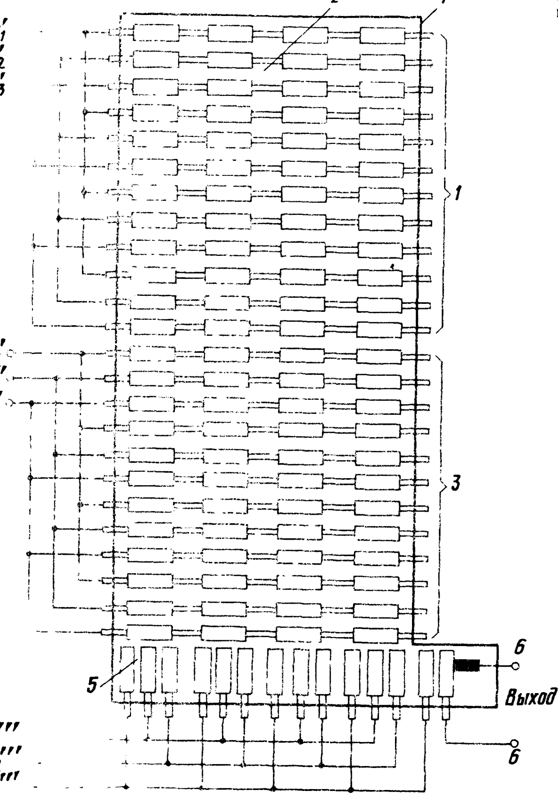


Рис. 5.19. Формирование сигналов изображения

напряжения, можно обеспечить хранение зарядов, а также их направленное перемещение.

Процесс направленного перемещения заряда в ПЗС показан на рис. 5.18. Как видно из рисунка, под электродом *1* имеется зарядовый пакет. Введение зарядового пакета может осуществляться либо *p-n* переходом, расположенным вблизи крайнего элемента ПЗС, либо световой энергией.

В исходном состоянии (рис. 5.18*а*) к электродам *1, 4, 7* приложено отрицательное напряжение — U_2 ($U_1 < U_2$), к остальным электродам приложено напряжение — U_1 относительно подложки, которая заземлена. Если приложить к электродам *2, 5, 8*, соседним по отношению к *1, 4, 7*, напряжение $-U_3$ (причем $U_3 > U_2$), то заряды перетекут вправо и расположатся под электродами *2* и *8* (рис. 5.18*б*). В следующем такте (хранение) напряжение — U_2 должно быть на шине, соединяющей элементы *3, 6, 9* и т. д. (рис. 5.18*в*). Таким образом, при подаче правильно сформированных прямоугольных импульсов на управляющие шины удается получить направленное перемещение зарядов.

Формирователь сигналов изображения (рис. 5.19) состоит из трех секций: оптической *1*, состоящей из отдельных МДП-элементов *2*, секции хранения *3*, секции считывания, состоящей из сдвигового регистра и выходного считывающего элемента, преобразующего зарядовые пакеты в видеосигнал.

Изображение проецируется на оптическую секцию, элементы которой используются в качестве светочувствительных ячеек. Заряды, накопленные в фотоприемной секции, с помощью управляющих напряжений U_1', U_2' и U_3' поочередно перемещаются в секцию хранения. Перемещение зарядовых пакетов в секции хранения обеспечивается сигналами U_1'', U_2'' и U_3''. В течение времени формиро-

вания следующего кадра заряды из секции считывания поступают на сдвиговый регистр 5. С помощью импульсов U_1''', U_2''' и U_3''' заряды из сдвигового регистра поэлементно поступают на выходной считывающий элемент. Видеосигнал снимается с выхода 6. Для обеспечения вывода информации, накопленной в секции хранения за время кадра, тактовая частота сдвига в выходном регистре должна в k раз превышать тактовую частоту в секции хранения (где k — число элементов в строке).

Чересстрочная развертка в матричном ФСИ получается следующим образом. Каждый светочувствительный элемент управляется тремя электродами. При накоплении заряда в первом полукадре только на один электрод подается напряжение смещения. Два других электрода используются для направленной передачи зарядов. В течение второго полукадра напряжение смещения подается на все электроды и область накопления зарядов несколько смещается в вертикальном направлении. Таким образом, один и тот же элемент ПЗС используется дважды в четном и нечетном полукадре и применение чересстрочной развертки позволяет вдвое увеличить разрешающую способность матрицы по вертикали при сохранении того же количества элементов.

Основная трудность при изготовлении ФСИ заключается в необходимости обеспечения бездефектной фотолитографии. Если в светочувствительной секции или секции хранения будет неисправен только один ПЗС-элемент, то на выходе будет потеряна информация от всего столбца, так как при развертке не будут передаваться зарядовые пакеты всех элементов столбца, расположенных выше дефектного.

Несмотря на трудности изготовления ПЗС уже созданы формирователи сигналов изображения, обладающие необходимым числом элементов для получения изображения высокого качества. Так, фирмой RCA (США) на кристалле размерами 7,6 × 10,2 мм разработан ФСИ, обеспечивающий при чересстрочном разложении разрешающую способность 512 × 320 элементов. Фирма Bell Laboratories (США) разработала экспериментальную модель цветной телевизионной камеры, в которой формирование цветовых сигналов осуществляется с помощью трех ПЗС. Структурная схема камеры включает оптическую часть и преобразователи. Изображение, передаваемое с помощью вариообъектива, поступает в призменный светоделительный блок. На выходах компонент *R*, *G* и *B* светоделительного блока размещены соответствующие ПЗС. Преимущества телевизионных камер на ПЗС настолько очевидны, что несомненно следует ожидать в ближайшее время появление новых усовершенствованных приборов с зарядовой связью.

Глава шестая. КАМЕРНЫЙ КАНАЛ ЦВЕТНОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ

Основные элементы камерного канала

В камерном канале ЦТ осуществляется усиление и обработка видеосигналов, поступающих с камеры. Процесс обработки включает несколько этапов преобразования сигналов E_R, E_G, E_B, E_Y. При прохождении по кабелю длиной 600—1000 м в видеосигналах ослабляются высокочастотные компоненты из-за повышенного затухания кабеля в области граничных частот спектра. Поэтому первое преобразование сигнала заключается в коррекции искажений, вносимых кабелем.

Следующий этап преобразований — коррекция апертурных искажений, вносимых передающими трубками камеры. В простейшем случае ограничиваются применением апертурной коррекции в горизонтальном направлении, причем степень коррекции делается регулируемой.

Процесс формирования сигналов заключается во введении гасящих импульсов приемной трубки, ограничении уровня гасящих импульсов и ограничении максимальных значений видеосигнала. В формирующем усилителе осуществляется также коррекция амплитудной характеристики телевизионной системы от света до света. Уровень ограничения гасящих импульсов, замешанных в видеосигнал, дол-

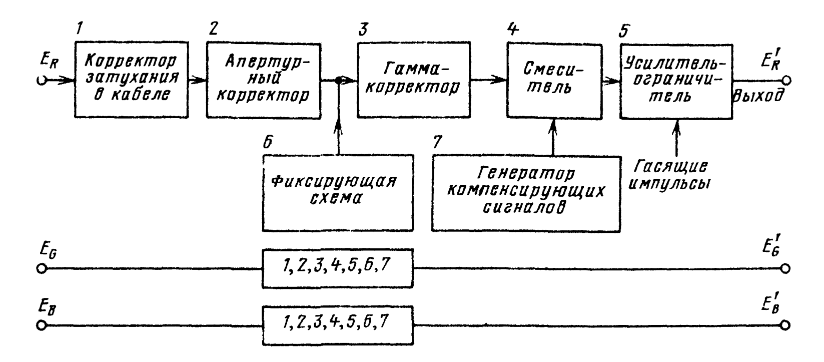


Рис 6 1 Структурная схема камерного канала цветного телевидения

жен плавно регулироваться для установки защитной полосы между этим уровнем и уровнем черного в видеосигнале [1]. Для правильного ограничения гасящих импульсов необходима фиксация уровня черного в видеосигнале, которая обеспечивает стабильность положения уровня ограничения, устраняет низкочастотные помехи и искажения низкочастотных видеоимпульсов.

Компенсация неравномерности видеосигнала, вызванной особенностями формирования сигнала в передающей трубке, осуществляется путем замещивания компенсирующих сигналов, вырабатываемых специальным генератором.

С выхода формирующего усилителя видеосигналы поступают на кодирующее устройство. В зависимости от типа применяемой камеры видеоканал может быть рассчитан на формирование либо трех, либо четырех видеосигналов. В последнем случае канал сигнала яркости должен обеспечивать пропускание полной полосы частот, а каналы цветовых сигналов могут быть узкополосными.

Структурная схема камерного канала для трехтрубочной камеры изображена на рис. 6.1. Здесь подробно показана схема формирования сигнала E_R, каналы для сигналов E_G и E_B построены аналогично.

Коррекция нелинейных искажений

В черно-белом телевидении нелинейные искажения, приводящие к искаженной передаче градаций яркости, устраняются с помощью гамма-коррекции [1]. В цветном телевидении гамма-корректор исправляет искажения цветового тона и насыщенности цвета, вызванные нелинейностью амплитудной характеристики тракта от света до света. Примечательно, что требуется высокая идентичность амплитудных характеристик гамма-корректоров в трех цветовых каналах. Несовпадение амплитудных характеристик гамма-корректоров цветовых каналов на 1—2% приводит к заметным искажениям цветности изображения.

Нелинейность амплитудной характеристики телевизионного тракта вызывается нелинейностью его отдельных элементов. К ним можно отнести видеоусилители, модулятор передатчика, детектор к УПЧ приемника, кинескоп. Некоторые из перечисленных звеньев телевизионного тракта, например видеоусилители, детектор, УПЧ, при нормальных режимах работы не должны вносить заметных нелинейных искажений. Это достигается рациональным построением телевизионной аппаратуры. Поэтому нелинейность телевизионного тракта определяется в основном амплитудными характеристиками передающей и приемной телевизионных трубок.

Амплитудная характеристика передающей трубки (часто называемая световой характеристикой) представляет собой зависимость тока сигнала от освещенности на фотокатоде $i_c=f(E)$. В связи с тем, что освещенность E фотокатода пропорциональна яркости объекта $B_{об}$, а напряжение на нагрузочном сопротивлении передающей трубки u_c пропорционально току сигнала, под световой характеристикой часто понимают зависимость $u_c=\varphi(B_{об})$. Световая характеристика передающей трубки обычно аппроксимируется выражением

$$u_c = k_1 B_{об}^{\gamma_1}, \quad (6.1)$$

где k_1 коэффициент пропорциональности; γ_1 — показатель степени, определяющий форму световой характеристики. Для передающей трубки типа видикон $\gamma_1 = 0{,}6 \div 0{,}7$. Плюмбикон имеет практически линейную световую характеристику с $\gamma_1 \approx 1$.

Амплитудная характеристика приемной трубки, называемая также модуляционной характеристикой, представляет зависимость яркости свечения экрана кинескопа (изображения) от напряжения на модулирующем электроде, т. е. $B_{из} = \psi(u_c)$. Эта зависимость определяется функцией

$$B_{из} = k_2 u_c^{\gamma_2}. \quad (6.2)$$

В черно-белом телевидении $\gamma_2 = 2{,}5 \div 2{,}7$; при этом считается, что формула (6.2) обеспечивает вполне достаточную для практики точность. Световые характеристики цветного кинескопа определяются большим числом параметров. Во-первых, в кинескопе цветного телевидения имеется три электронных прожектора, во-вторых, световые характеристики зависят от напряжения на ускоряющем электроде, которое может выбираться от 250 до 700 В (кинескоп 59ЛК3Ц). В черно-белом кинескопе модуляция электронного луча обычно осуществляется подачей модулирующего напряжения на катод. В цветном кинескопе подается сигнал как на катод, так и на модулятор. Измерения показывают, что величина γ_2 для цветного кинескопа не является постоянной. Она зависит от напряжения сигнала. Обычно γ_2 изменяется от 2,5 до 3,5 при подаче сигнала на модулятор и от 2,5 до 2,7 при подаче на катод.

Общая амплитудная характеристика телевизионного тракта от света до света определяется зависимостью

$$B_{из} = k_2 (k_1 B_{об}^{\gamma_1})^{\gamma_2} = k_1^{\gamma_2} k_2 B_{об}^{\gamma_1 \gamma_2} = k B_{об}^{\gamma}, \quad (6.3)$$

где $k = k_1^{\gamma_2} k_2$ и $\gamma = \gamma_1 \gamma_2$.

На практике для исключения коэффициента k из расчетов удобнее выражать значения $B_{об}$ и $B_{из}$ в относительных единицах. Из (6.3) для максимальной яркости следует

$$B_{из\,max} = k B_{об\,max}^{\gamma}. \quad (6.4)$$

Поделив (6.3) на (6.4), имеем

$$B_{из}/B_{из\,max} = (B_{об}/B_{об\,max})^{\gamma}. \quad (6.5)$$

Выражение для амплитудной характеристики тракта от света до света в относительных единицах удобно, так как входящие в формулу величины изменяются от 0 до 1 и $k = 1$. Амплитудные характеристики тракта для трех случаев $\gamma < 1$, $\gamma = 1$ и $\gamma > 1$ представлены на рис. 6.2.

Коррекцию формы амплитудной характеристики тракта осуществляют с помощью устройства с нелинейной амплитудной характеристикой, обычно являющейся степенной функцией с показателем степени $\gamma_к$. Можно показать, что результирующий коэффициент $\gamma_р$ всего тракта от света до света в этом случае будет выражаться соотношением

$$\gamma_р = \gamma_1 \gamma_2 \gamma_к, \quad (6.6)$$

где $\gamma_к$ — показатель нелинейности корректора.

Поскольку в цветном телевидении результирующая характеристика должна быть линейной, т. е. $\gamma_р = 1$, из формулы (6.6) имеем

$$\gamma_к = 1/(\gamma_1 \gamma_2). \quad (6.7)$$

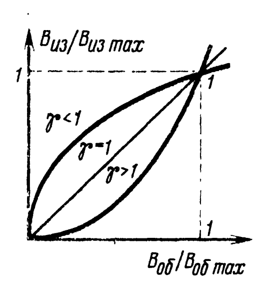


Рис. 6.2. Амплитудные характеристики телевизионного тракта от света до света

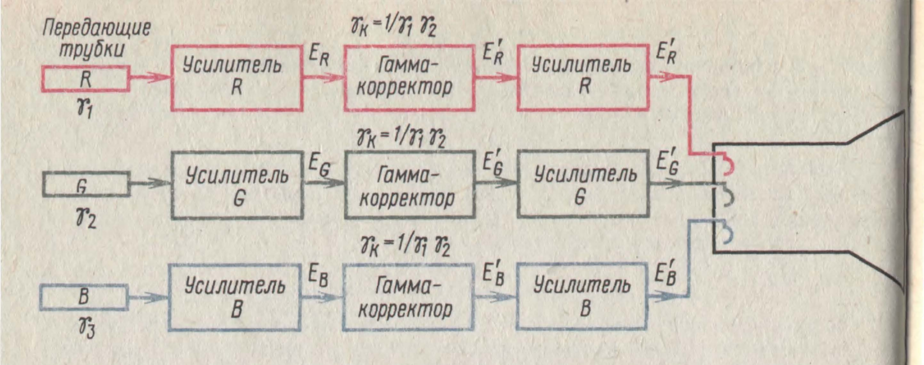


Рис. 6.3. Структурная схема нелинейных преобразований видеосигнала

Упрощенная схема простейшего телевизионного тракта с коррекцией нелинейности представлена на рис. 6.3. По такой схеме строятся системы замкнутого типа, когда сигналы, сформированные в телевизионном канале, поступают по отдельным кабелям на цветное воспроизводящее устройство. Примером использования таких систем является система для демонстрации хирургических операций в клиниках, когда изображение из операционной передается в демонстрационный зал по кабелям.

В вещательном телевидении передается иной набор сигналов, обеспечивающих возможность уплотнения телевизионного канала и совместимость цветного и черно-белого телевидения. С этой целью формируется яркостный видеосигнал E_Y и цветоразностные сигналы E_{R-Y} и E_{B-Y}. При использовании на телецентре передающих камер трехтрубочного типа, последовательность преобразований получается следующей.

1. Сигналы E_R, E_G и E_B подвергаются гамма-коррекции согласно выражению (6.7). Сигналы $E_R{}^{\gamma_к}$, $E_G{}^{\gamma_к}$ и $E_B{}^{\gamma_к}$ принято обозначать E_R', E_G' и E_B' соответственно.

2. Из сигналов E_R', E_G' и E_B' формируется сигнал E_Y' согласно уравнению

$$E'_Y = 0{,}30\,E'_R + 0{,}59\,E'_G + 0{,}11\,E'_B. \tag{6.8}$$

3. Цветоразностные сигналы E'_{R-Y} и E'_{B-Y} формируются методом матрицирования согласно уравнениям

$$E'_{R-Y} = 0{,}70\,E'_R - 0{,}59\,E'_G - 0{,}11\,E'_B, \tag{6.9}$$

$$E'_{B-Y} = -0{,}30\,E'_R - 0{,}59\,E'_G + 0{,}89\,E'_B. \tag{6.10}$$

В приемниках цветного телевидения обычно сигнал E_Y' подается одновременно на катоды трех электронных прожекторов, а цветоразностные сигналы — каждый на свой модулятор. Результирующий сигнал, действующий между катодом и модулятором, например, красного электронного прожектора, согласно уравнениям (6.8) — (6.10) будет $E_R' = E_Y' + E'_{R-Y}$.

На других электронных прожекторах будут действовать соответственно сигналы E_G' и E_B'.

Таким образом, рассмотренный порядок формирования сигналов обеспечивает правильное воспроизведение изображения на экране цветного телевизионного приемника. Иначе обстоит дело с воспроизведением изображения на экране черно-белого приемника. При подаче полного цветового сигнала на кинескоп черно-белого приемника возникают искажения. Действительно, идеальным случаем с точки зрения передачи градаций яркости является воспроизведение сигнала, подвергнутого гамма-коррекции, т. е. $E_Y{}^{\gamma_к}$.

Однако $E_Y' \neq E_Y{}^{\gamma_к}$, в чем легко убедиться, сравнив (6.8) со следующим выражением:

$$E_Y^{\gamma_к} = (0{,}30\,E_R + 0{,}59\,E_G + 0{,}11\,E_B)^{\gamma_к}. \qquad (6.11)$$

Действительно, (6.8) можно переписать в виде $E_Y' = 0{,}30E_R^{\gamma_к} + 0{,}59E_G^{\gamma_к} + 0{,}11E_Y^{\gamma_к}$ и тогда разница между E_Y' и $E_Y^{\gamma_к}$ становится очевидной.

Использование сигнала E_Y' для получения изображения на экранах черно-белого телевизора вызывает некоторые искажения градаций яркости, которые, однако, малозаметны.

Можно было бы получить более правильную передачу градаций яркости на экранах черно-белого телевидения, сформировав сигнал яркости согласно уравнению (6.11). Технически сформировать такой сигнал можно из цветовых сигналов трехтрубочной камеры. Для этого следует изменить порядок нелинейных преобразований. Вначале необходимо линеаризовать сигналы, поступающие с трубок, подвергнув их гамма-коррекции с $\gamma_{к1} = 1/\gamma_1$, затем полученные сигналы сложить в соответствии с выражением (6.11) и полученный сигнал вторично подвергнуть гамма-коррекции для компенсации влияния нелинейности кинескопа ($\gamma_{к2} = 1/\gamma_2$). В этом случае на экранах черно-белых приемников качество изображения несколько улучшится, однако цветопередача на экранах цветных приемников будет нарушена, поскольку сигналы E_R', E_G', E_B' в приемнике получаются сложением цветоразностных сигналов с сигналом $E_Y^{\gamma_к}$.

Поскольку искажения черно-белого изображения не очень заметны и поскольку в дальнейшем цветное телевидение полностью вытеснит черно-белое, было решено передавать сигнал E_Y', обеспечивающий получение цветного изображения высокого качества.

Иначе осуществляется формирование сигналов в усилительном тракте при использовании четырехтрубочных камер с отдельным каналом сигнала E_Y.

В четырехтрубочной камере вырабатываются сигналы E_R, E_G, E_B и E_{YW}. (Индекс W означает, что яркостный видеосигнал, получаемый от отдельной трубки, является широкополосным.) Цветовые сигналы формируются в полосе частот до 1,5 МГц. Имеются различные способы получения полного цветового сигнала из четырех сигналов, формируемых камерой. Ознакомимся с наиболее распространенными способами, предложенными Левингстоном и Джеймсом.

Структурная схема формирования сигналов по методу Левингстона показана на рис. 6.4. Сигнал яркости, создаваемый отдельной передающей трубкой, подвергается гамма-коррекции и используется в качестве широкополосного сигнала яркости. Для получения цветоразностных сигналов с помощью матрицы формируется сигнал E_Y'. Формирование этого сигнала осуществляется согласно выражению (6.8). В отличие от сигнала яркости, образующегося в камерном канале трехтрубочной камеры, в данном случае сигнал имеет полосу частот до 1,5 МГц. Отметим, что в образовании цветоразностных сигналов E_{YW}' не участвует.

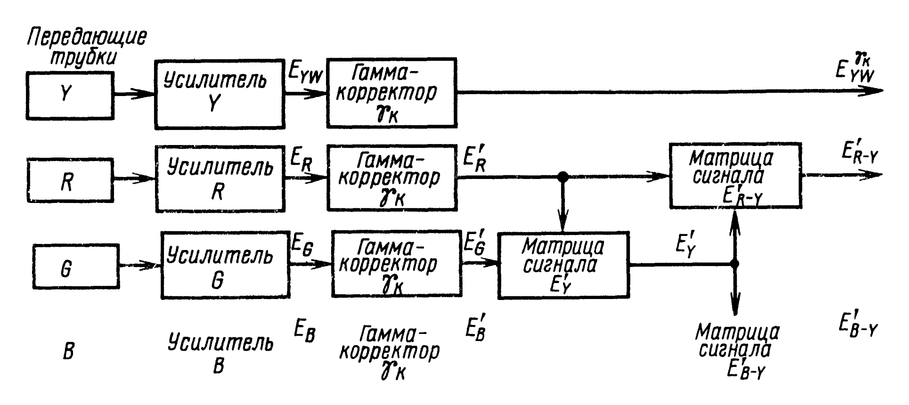


Рис. 6.4. Структурная схема формирования сигналов по методу Левингстона

В телевизионном приемнике из сигналов E'_{R-Y} и E'_{B-Y} матрицированием получают третий цветоразностный сигнал E'_{G-Y}. Затем цветоразностные сигналы подаются на модуляторы кинескопа, а яркостный сигнал E'_{YW} сразу на три катода. В результате сложения цветоразностных сигналов с сигналом E_{YW}' формируются цветовые сигналы, с помощью которых образуется цветное изображение. Однако при этом возникают некоторые погрешности цветопередачи. Действительно,

$$\left.\begin{aligned} E'_{R-Y}+E^{\gamma_к}_{YW}&=E^{\gamma_к}_{R}+E_{\Delta Y},\\ E'_{G-Y}+E^{\gamma_к}_{YW}&=E^{\gamma_к}_{G}+E_{\Delta Y},\\ E'_{B-Y}+E^{\gamma_к}_{YW}&=E^{\gamma_к}_{B}+E_{\Delta Y},\end{aligned}\right\} \qquad (6.12)$$

где $E_{\Delta Y}=E^{\gamma}_{YW}-E'_{Y}$.

Ошибка в восстановлении сигналов, равная $E_{\Delta Y}$, приводит к небольшим искажениям цветового тона, насыщенности и яркости, которые вполне допустимы на практике.

Особенность другого метода (метода Джеймса) заключается в том, что спектр сигнала яркости, передаваемого на телевизионные приемники, формируется из двух частей. В полосе до 1,5 МГц сигнал яркости соответствует уравнению (6.8). В полосе от 1,5 МГц и выше передаются составляющие яркостного сигнала $E^{\gamma_к}_{YW}$, получаемого от отдельной трубки.

Структурная схема формирования сигналов по методу Джеймса представлена на рис. 6.5. Здесь цветоразностные сигналы получаются из E_R', E_G' и E_B' в матрице так же, как в канале трехтрубочной камеры. Сигнал яркости формируется в виде

$$E_{Y\Delta L}=E^{\gamma_к}_{YW}-(E^{\gamma_к}_{Y}-E'_{Y}), \qquad (6.13)$$

где $E^{\gamma_к}_{Y}$ — сигнал яркости, получаемый с отдельной трубки; полоса частот сигнала яркости ограничена 1,5 МГц.

Широкополосный сигнал яркости (рис. 6.5), подвергнутый гамма-коррекции, поступает на фильтр нижних частот, который ограничивает его спектр до 1,5 МГц. Далее из образовавшегося сигнала вычитается E_Y', полученный результат, в свою очередь, вычитается из сигнала $E^{\gamma_к}_{YW}$

Как следует из (6.13), в полосе частот от 0 до 1,5 МГц имеются все три сигнала; раскрыв скобки, получим $E_{Y\ L}=E_Y'$. Таким образом, в полосе частот от 0 до 1,5 МГц сигнал $E_{Y\Delta L}$ ничем не отличается от сигнала яркости, передаваемого

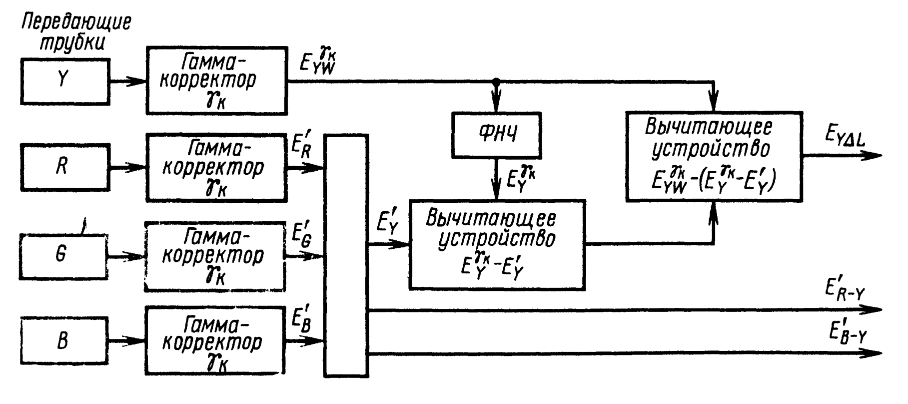


Рис. 6.5. Структурная схема формирования сигналов по методу Джеймса

с помощью трехтрубочной камеры и обеспечивавшего неискаженное воспроизведение цветного изображения. В полосе частот от 1,5 МГц и выше сигналы $E_Y^{\gamma_к}$ и E_Y' равны нулю. Следовательно, в этом частотном диапазоне $E_{Y}\angle_{L} = E_{YW}^{\gamma_к}$. Отметим, что в диапазоне от 1,5 МГц и выше сигналы цветности не передаются, а соответствующие им детали изображения в совместимых системах цветного телевидения передаются в черно-белом виде. По этой причине наличие высокочастотных компонентов $E_{YW}^{\gamma_к}$ необходимо лишь для получения высокой четкости изображения и не приводит к погрешностям в воспроизведении цвета.

Рассмотренный метод обеспечивает высокое качество цветного изображения, однако здесь необходима высокая точность выполнения всех преобразований, что усложняет оборудование.

Схемы гамма-корректоров

Принципиальные схемы гамма-корректоров строятся на основе использования нелинейных элементов. Нелинейными свойствами обладают многие элементы: транзисторы, варисторы, диоды и др. Однако обычно в гамма-корректорах в качестве нелинейных элементов используются диоды, которые обеспечивают достижение наибольшей стабильности формы амплитудной характеристики, что особенно важно в цветном телевидении.

Обычно один диод не обеспечивает получение амплитудной характеристики нужной формы, однако комбинация из нескольких диодов позволяет реализовать преобразование видеосигнала с необходимой точностью. На рис. 6.6 показана одна из возможных схем гамма-корректора с диодами, включенными в коллекторную цепь, а на рис. 6.7 приведена его амплитудная характеристика. При отсутствии сигнала на входе схемы оба диода закрыты. Это достигается подбором сопротивлений резисторов R_3—R_6. При уменьшении напряжения на базе транзистора увеличивается ток коллектора, отрицательный потенциал на коллекторе уменьшается, что вызывает открывание вначале диода $Д_1$, а затем и $Д_2$. При открывании диода $Д_1$ резистор R_3 подключается параллельно R_1, отчего эквивалентное сопротивление коллекторной цепи уменьшается, что вызывает соответствующее уменьшение усиления каскада. На амплитудной характеристике точка перелома *а* соответствует входному напряжению $U_{Вх\,а}$, при котором открывается диод $Д_1$. При напряжении $U_{вх\,б}$ открывается диод $Д_2$ и крутизна амплитудной характеристики еще более уменьшается. Для получения характеристик с $\gamma = 0,45$ достаточно иметь три диодных цепи, а для корректора с $\gamma = 0,3$ не менее пяти.

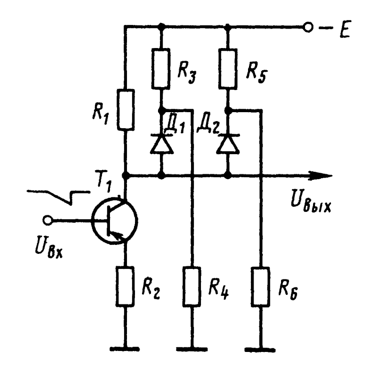


Рис. 6.6. Принципиальная схема гамма-корректора

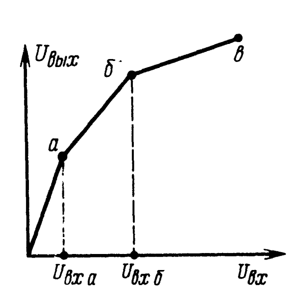


Рис. 6.7. Амплитудная характеристика гамма-корректора

Апертурная коррекция

Одной из необходимых обработок сигнала, осуществляемых в камерном канале, является коррекция апертурных искажений, вносимых передающей трубкой. Под апертурными искажениями передающей трубки понимают уменьшение значения полезного сигнала от мелких деталей, вызванное конечными размерами считывающего луча. Количественной мерой апертурных искажений может служить относительное снижение сигнала от мелких деталей изображения:

$$\alpha = \Delta i / (i_{\max} - i_{\min}), \qquad (6.14)$$

где Δi — перепад видеосигнала от мелкой детали; $i_{\max}$ и $i_{\min}$ — максимальное и минимальное значения токов сигнала, образующихся при развертке крупных деталей.

Коэффициент апертурных искажений α зависит от размеров воспроизводимых деталей. Обычно апертурные характеристики передающих трубок определяются экспериментально. Перед камерой помещается испытательное изображение, состоящее из чередующихся черных и белых штрихов, с указанными значениями четкости в телевизионных линиях (твл) или соответствующих им частот сигнала. Значения Δi, $i_{\max}$ и $i_{\min}$ определяются по видеосигналу с помощью осциллографа для различных групп штрихов. Результаты измерений в виде функции $\alpha = \varphi(N)$ или $\alpha = \psi(f)$ представляются графически. Обычно измерения осуществляются при фиксированных значениях $N_{\text{твл}}$, а переход к частоте сигнала $f_{\text{МГц}}$ — по формуле

$$f_N = \frac{pnz}{2(1-\beta)} N, \qquad (6.15)$$

где N — номинальное значение четкости; p — формат кадра; n — число кадров в секунду; z — количество строк, $\beta = a/H$ (a — длительность строчного гасящего импульса, H — длительность строки).

Для отечественного стандарта, подставив значение $p = 4/3$, $n = 25$, $z = 625$, $\beta = 0{,}16$, имеем

$$f_N = 0{,}0127\, N (\text{МГц}), \quad N \approx 79 f_N. \qquad (6.16), \quad (6.17)$$

На рис. 6.8 изображены апертурные характеристики видиконов ЛИ-415 (диаметром 25 мм), ЛИ-418 (диаметром 38 мм) и плюмбикона типа $XQ = 1020$ (диаметром 30 мм) фирмы «Philips» (Голландия). Как видно из рис. 6.8, апертурные характеристики имеют вид плавно спадающих графиков. На отметке 400 твл относительное значение видеосигнала уменьшается до 30—70%, причем передающие трубки больших габаритов характеризуются меньшими апертурными искажениями. Уменьшение четкости изображения, вызываемое спадом апертурных характеристик в области верхних частот, может быть скомпенсировано с помощью апертурных корректоров.

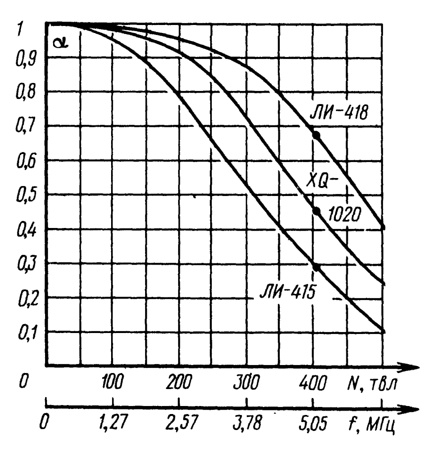


Рис. 6.8. Апертурные характеристики видиконов

По своему проявлению на изображении апертурные искажения сходны с искажениями видеосигнала, вызываемыми спадом частотной характеристики видеотракта в области верхних частот. Имеется, однако, существенное различие, которое приводит к необходимости применения специальных схем коррекции апертурных искажений. В видеоусилителях частотные искаже-

ния сопровождаются фазовыми. Апертурные искажения обычно не сопровождаются фазовыми. Апертурные искажения обычно не сопровождаются искажениями, поэтому апертурный корректор, имеющий значительный подъем частотной характеристики в области верхних частот, не должен вносить в видеосигнал фазовые сдвиги.

Апертурные корректоры выполняются по двум распространенным схемам. Одна из них основана на применении дифференцирующих цепей. Сущность метода дифференциальной апертурной коррекции заключается в следующем. Апертурная характеристика передающей трубки аппроксимируется функцией

$$\alpha = e^{-(\omega/\omega_0)^2}, \qquad (6.18)$$

где ω_0 — частота, при которой амплитуда сигнала уменьшается в e раз ($e = 2{,}7$ — основание натуральных логарифмов). Практика показывает, что при соответствующем выборе (по экспериментальной зависимости) значения ω_0 данная аппроксимирующая формула обеспечивает достаточную точность.

Выражение (6.18) может быть представлено в виде

$$\alpha = \frac{1}{1 + a_1(\omega/\omega_0)^2 + a_2(\omega/\omega_0)^4 + a_3(\omega/\omega_0)^6}, \qquad (6.19)$$

где $a_1 = 1/1!$; $a_2 = 1/2!$; $a_3 = 1/3!$ и т. д.

Апертурный корректор должен иметь обратную частотную характеристику вида.

$$\alpha_1 = 1 + a_1(\omega/\omega_0)^2 + a_2(\omega/\omega_0)^4 + \ldots \qquad (6.20)$$

Дифференциальная апертурная коррекция сводится к синтезу частотной характеристики, описываемой выражением (6.20). Как видно из (6.20), общая частотная характеристика $\alpha = f(\omega)$ может быть представлена как сумма частотных характеристик $a_1(\omega/\omega_0)^2$, $a_2(\omega/\omega_0)^4$ и т. д. Характеристики такого типа могут быть получены при помощи дифференцирующих цепей. Частотная характеристика однозвенной дифференцирующей цепи (рис. 6.9*а*) определяется выражением

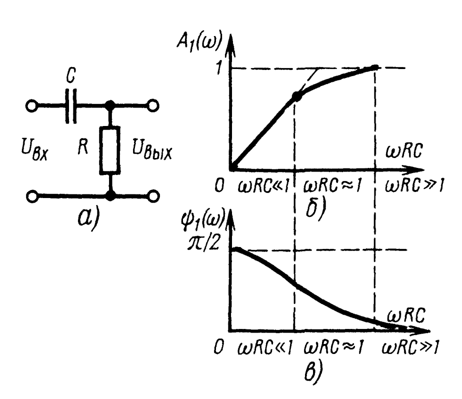
$$A_1(\omega) = \frac{\omega RC}{\sqrt{1 + (\omega RC)^2}}. \qquad (6.21)$$

При соответствующем выборе постоянной времени выполняется неравенство $\omega RC \ll 1$ и

$$A_1(\omega) \approx \omega RC. \qquad (6.22)$$

Фазовая характеристика цепи

$$\psi_1(\omega) = \pi/2 - \mathrm{arctg}\,\omega RC. \qquad (6.23)$$



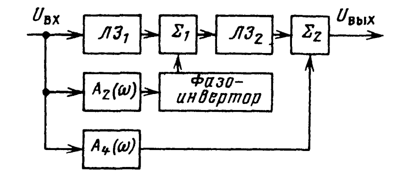


Рис. 6.10. Структурная схема дифференциального апертурного корректора

Рис. 6.9. Работа дифференцирующей цепи: *а* — принципиальная схема; *б* — АЧХ дифференцирующей цепи; *в* — ФЧХ дифференцирующей цепи

При выполнении неравенства ωRC получим $\psi_1(\omega)=\pi/2$. Частотная и фазовая характеристики однозвенной дифференцирующей цепи изображены на рис. 6.9*б, в*.

Можно показать, что при последовательном соединении двух дифференцирующих цепей частотная характеристика будет определяться выражением $A_2(\omega)=\omega^2 R_1^2 C_1^2$, а четырех — $A_4(\omega)=\omega^4 C_2^4 R_2^4$.

Фазовый сдвиг, равный для однозвенной цепи $\pi/2$, для двух последовательно соединенных цепей составит π, а для четырех цепей 2π.

На практике обычно используются более сложные дифференцирующие цепи, обеспечивающие за счет применения дополнительных элементов больший коэффициент передачи при сохранении фазовой характеристики. Применяются также цепи двойного дифференцирования, позволяющие получить сразу сигнал второй производной.

Структурная схема апертурного корректора дифференциального типа представлена на рис. 6.10. Здесь корректирование частотной характеристики осуществляется добавлением к основному сигналу сигналов второй и четвертой производных. Суммирование корректирующих сигналов с основным осуществляется в сумматорах Σ_1 и Σ_2. В цепь формирования сигнала второй производной включен фазоинвертор: это необходимо потому, что двузвенная дифференцирующая цепь изменяет фазу входного сигнала на π. Линия задержки $ЛЗ_1$ и $ЛЗ_2$ используются для временного согласования основного и корректирующего сигналов в том случае, если вместо простейших дифференцирующих цепей применяются более сложные цепи, вносящие задержку дифференцированного сигнала относительно основного.

Другим распространенным методом коррекции апертурных искажений является метод разностной апертурной коррекции, основанный на применении линии задержки. Схема апертурного корректора с линией задержки изображена на рис. 6.11. Корректируемый сигнал $U_{вк}$ с предшествующего корректору каскада поступает на затвор полевого транзистора T_1, включенного по схеме истокового повторителя. Сигнал $U_{вх}$ одновременно поступает на вход линии задержки. С выхода линии задержки сигнал снимается на затвор T_2, имеющий общий с T_1 резистор R_1 в цепи истока. Выходное сопротивление источника сигнала выбирается равным волновому сопротивлению линии. Поскольку входное сопротивление полевого транзистора достаточно высокое, можно считать, что линия задержки разомкнута на выходе. При подключении разомкнутой линии к источнику гармонических колебаний, имеющему внутреннее сопротивление, равное ее волновому сопротивлению, в линии возникают стоячие волны и напряжение в точке, находящейся на расстоянии x от конца линии, равно

$$U_x = U_{вх} \cos \omega\, x/v, \tag{6.24}$$

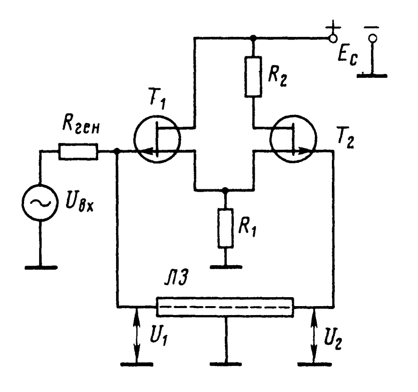


Рис. 6.11. Принципиальная схема апертурного корректора на длинной линии

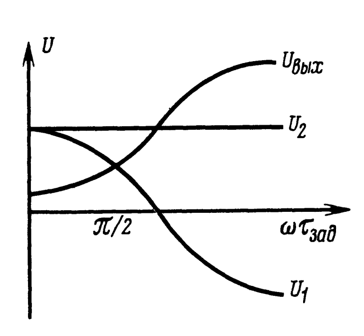


Рис. 6.12. Амплитудно-частотная характеристика апертурного корректора на длинной линии

где v — скорость распространения сигнала вдоль линии; ω — круговая частота генератора возбуждения.

Если длина линии равна l, то напряжение на ее входе определится при подстановке l в (6.24):

$$U_1 = U_{вх} \cos \omega \, l/v = U_{вх} \cos \omega \tau_{зад}, \qquad (6.25)$$

так как значение l/v равно времени задержки линии $\tau_{зад}$. Напряжение на разомкнутом конце линии получим из (6.24) при $x=0$:

$$U_2 = U_{вх}, \qquad (6.26)$$

т. е. напряжение на разомкнутом конце линии равно напряжению источника сигнала, синфазно с ним и не зависит от частоты. Напротив, напряжение U_1 зависит как от параметров линии, так и от частоты. Графически зависимости U_1 и U_2 от частоты изображены на рис. 6.12.

Напряжение на выходе корректора, снимаемое со стока T_2, пропорционально разности напряжений U_1 и U_2. Действительно, допустим, что напряжение U_1 в какой-то момент времени положительно. Так как транзистор T_1 включен по схеме истокового повторителя, напряжение на его истоке тоже положительно. Это же напряжение действует на истоке транзистора T_2. Подача положительного напряжения на исток транзистора T_2 равносильна подаче отрицательного напряжения на его затвор. Кроме напряжения, пропорционального U_1, на затвор T_2 поступает напряжение U_2, которое синфазно с напряжением источника сигнала и, следовательно, имеет положительную полярность. Таким образом, можно записать

$$U_{вых} = U_1 k_1 - U_2 k_2. \qquad (6.27)$$

Здесь k_1 — коэффициент усиления схемы от затвора T_1 до стока T_2; k_2 — коэффициент усиления транзистора T_2.

На основании (6.27) и (6.25) получим

$$U_{вых} = -U_{вх} k_2 [1 - (k_1/k_2) \cos \omega \tau_{зад}]. \qquad (6.28)$$

Общий коэффициент усиления схемы

$$k = U_{вых}/U_{вх} = k_2 [1 - (k_1/k_2) \cos \omega \tau_{зад}]. \qquad (6.29)$$

Таким образом, рассмотренное устройство позволяет поднять частотную характеристику в области высоких частот. Зависимость выходного напряжения от частоты (см. рис. 6.12) имеет вид отрезка косинусоиды и отличается от оптимальной зависимости, определяемой (6.20). Более точную коррекцию можно осуществить, применив несколько линий задержки с разным значением $\tau_{зад}$. Однако на практике обычно ограничиваются применением схемы с одной линией задержки. В качестве линии задержки в апертурных корректорах чаще всего используют отрезок специального кабеля задержки, например, типа РК3-401. Этот кабель имеет волновое сопротивление 401 Ом и время задержки 0,6 мкс на 1 м длины.

Как отмечалось ранее, апертурный корректор не должен вносить фазовых сдвигов. Выражение (6.29) для коэффициента передачи корректора является вещественной функцией, из чего можно заключить, что такой корректор не вносит фазовых искажений.

Как следует из (6.29), коэффициент передачи оказывается максимальным при $\omega\tau_{зад} = \pi$. Максимум частотной характеристики корректора должен соответствовать граничной частоте телевизионного сигнала ω, на которой апертурные искажения максимальны, т. е. $\tau_{зад} = \varepsilon/\omega_{гр} = 1/(2f_{гр})$. Приняв $f_{гр} = 6{,}5$ МГц, имеем $\tau_{зад} = 0{,}07$ мкс. Учитывая, что кабель типа РК3-401, имеет задержку 0,6 мкс на 1 м длины, необходимая $\tau_{зад}$ обеспечивается при длине кабеля $l = 0{,}07/0{,}06 = 0{,}128$ м.

Глава седьмая. **СИСТЕМА ЦВЕТНОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ NTSC**

Развитие системы

Система цветного телевидения NTSC была разработана в США Национальным Комитетом Телевизионных Систем (National Television System Committee). Система NTSC принята в качестве стандартной системы цветного телевидения также в Канаде, Японии и ряде стран американского континента.

В качестве сигналов для передачи цветовой информации в системе NTSC приняты цветоразностные сигналы. Передача этих сигналов осуществляется в спектре сигнала яркости на одной цветовой поднесущей. Для того чтобы иметь возможность передавать два видеосигнала цветности с помощью одной поднесущей частоты, применен метод квадратурной амплитудной модуляции. Сущность этого метода заключается в следующем. Сигналы U_{R-Y} и U_{B-Y} подаются на два балансных модулятора. Эти сигналы являются модулирующими. Модулируемые колебания имеют одну и ту же частоту ω, однако сдвинуты относительно друг друга на угол 90°.

При векторном представлении синусоидальных колебаний сформированные составляющие U_1 и U_2 имеют вид, показанный на рис. 7.1*а*. Каждая из составляющих может быть промодулирована методом амплитудной модуляции одним из цветоразностных сигналов. Положим, например, что составляющая U_1 промодулирована сигналом U_{R-Y}, а составляющая U_2 — сигналом U_{B-Y}. При сложении продуктов модуляции образуется результирующий сигнал, отображаемый на плоскости вектором $U_{цв}$ (рис. 7.1*б*). Результирующее колебание $U_{цв}$ характеризует сигнал цветности и имеет как амплитудную, так и фазовую модуляцию:

$$U_{цв} = E'_{R-Y}\cos\omega_0 t + E'_{B-Y}\sin\omega_0 t = U_{цв\,m}\sin(\omega_0 t + \varphi), \tag{7.1}$$

где

$$U_{цв\,m} \doteq \sqrt{E^2_{R-Y} + E^2_{B-Y}}, \tag{7.2}$$

$$\varphi = \operatorname{arctg}\frac{E'_{R-Y}}{E'_{B-Y}}. \tag{7.3}$$

Действительно, при модуляции значения векторов E'_{R-Y} и E'_{R-Y} изменяются, а следовательно, должны изменяться амплитуда и фаза результирующего колебания (вектор $U_{цв}$). Поэтому квадратурная модуляция является амплитудно-фазовой модуляцией.

Квадратурная модуляция может быть выполнена и балансным методом. В этом случае каждая из квадратурных составляющих модулируется по амплитуде цветоразностным сигналом в балансном модуляторе, причем на выходе модулятора имеются только боковые составляющие спектра, несущие полезную цветовую информацию, а несущая подавлена. Балансная модуляция имеет преимущества, заключающиеся в том, что в значительной степени уменьшаются по-

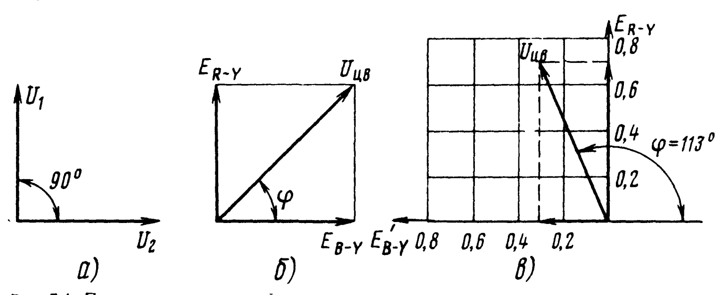


Рис. 7.1. Принцип квадратурной модуляции:
а — немодулированные квадратурные составляющие; *б* — сложение модулированных квадратурных составляющих; *в* — положение результирующего вектора при передаче красного цвета

мехи в канале яркости со стороны колебаний поднесущей частоты. На векторной диаграмме (рис. 7.1*б*) применение балансной модуляции проявится в том, что векторы E'_{R-Y} и E'_{B-Y} будут в процессе модуляции менять не только свое значение, но и знак (направление). При этом результирующий вектор $U'_{цв}$ будет занимать в плоскости любое положение в пределах изменения угла φ от 0 до 360°.

Следует отметить, что применение балансной модуляции в данном случае не обязательно. Можно применить и обычную амплитудную модуляцию, однако заметность помехи от поднесущей на экране телевизоров будет больше, а следовательно, совместимость хуже.

При балансной модуляции поднесущей цветоразностными сигналами хорошая совместимость достигается, потому что на неокрашенных деталях изображения нет помех со стороны сигналов цветности: цветоразностные сигналы, как это было показано ранее, равны нулю и напряжение поднесущей также равно нулю.

Применение балансной модуляции приводит к необходимости применять в телевизионном приемнике синхронное детектирование сигнала. Это усложняет приемник, но повышает помехоустойчивость.

Определим значения цветоразностных сигналов для некоторых характерных цветов: красного, желтого, зеленого, сине-зеленого, синего и пурпурного. Например, для красного $E_R=1$В; $E_B=0$; $E_G=0$; $E_Y=0{,}11E_B+0{,}59E_G+0{,}30E_R=$ $=0{,}30E_R=0{,}3$В $E_{B-Y}=E_B-E_Y=0-0{,}3=-0{,}3$В, $E_{R-Y}=E_R-E_Y=1-0{,}3=0{,}7$В.

Таблица 7.1

Цвет	E'_R	E'_B	E'_G	E'_Y	E'_{R-Y}	E'_{B-Y}	φ°
Красный	1	0	0	0,3	0,7	−0,3	113,2
Желтый	1	0	1	0,89	0,11	−0,89	172,8
Зеленый	0	0	1	0,59	−0,59	−0,59	225
Сине-зеленый	0	1	1	0,7	−0,7	−0,3	293
Синий	0	1	0	0,11	−0,11	0,89	353
Пурпурный	1	1	0	0,41	0,59	0,59	45

Соответствующая красному цвету векторная диаграмма изображена на рис. 7.1*в*. В табл. 7.1 приведены основные сигналы E_R, E_G, E_B, а также сигнал яркости и соответствующие цветоразностные сигналы для указанных цветов, рассчитанные так же, как в приведенном примере. Там же указаны фазовые сдвиги φ вектора $U_{цв}$ относительно вектора E_{B-Y}, направление которого условно принято за нулевое.

Из табл. 7.1 видно, что экстремальные значения E'_{R-Y} и E'_{B-Y} различны. Так, сигнал E_{R-Y} имеет максимальное положительное значение, равное 0,7, при передаче красного цвета и максимальное отрицательное −0,7 при передаче сине-зеленого. В то же время сигнал E'_{B-Y} имеет экстремальные значения +0,89 и −0,89, соответствующие желтому и синему. Если сигналами E_{R-Y} и E_{B-Y} произвести модуляцию поднесущей, то энергия, приходящаяся на модулированные сигналы, будет разной. Для улучшения условий передачи обоих сигналов общий сигнал, включающий сигнал яркости, формируется на основе следующего выражения:

$$U_\Sigma = E'_Y + 0{,}877\,E'_{R-Y}\cos\omega_n t + 0{,}493\,E'_{B-Y}\sin\omega_n t. \tag{7.4}$$

Здесь коэффициенты $k_R=0{,}877$ и $k_B=0{,}493$ называются коэффициентами компрессии.

С помощью (7.4) можно вычислить значения результирующего сигнала цветности, его амплитуду и фазу:

$$U_{цв} = \sqrt{(0{,}877\,E'_{R-Y})^2 + (0{,}493\,E'_{B-Y})^2}, \qquad (7.5)$$

$$\varphi = \operatorname{arctg} 1{,}78\,\frac{E'_{R-Y}}{E'_{B-Y}}.$$

Численные значения $U_{цв}$ и φ для различных цветов приведены в табл. 7.2. Там же приведены значения полного сигнала цветности, полученного для других цветоразностных сигналов E'_I и E'_Q, о которых речь пойдет дальше.

Таблица 7.2

Цвет	Сигналы E'_{R-Y} и E'_{B-Y}		Сигналы I' и Q'	
	$U_{цв}$	$\varphi°$	$U_{цв}$	$\varphi°$
Красный	0,76	113,2	0,63	103,5
Желтый	0,9	172,8	0,45	167,3
Зеленый	0,85	225	0,6	241
Сине-зеленый	0,76	293	0,63	283,5
Синий	0,9	353	0,45	347
Пурпурный	0,85	45	0,6	60,6

По данным этой таблицы для указанных цветов построены векторы (рис. 7.2) характеризующие сигнал $U_{цв}$. Отметим основные свойства этой диаграммы.

1. Каждому передаваемому цвету соответствует определенное положение вектора на фазовой плоскости.

2. Дополнительные цвета (желтый-синий, зеленый-пурпурный и др.) характеризуются векторами, лежащими на одной линии, но противоположно направленными.

3. Положение, которое занимает вектор относительно осей E'_{R-Y} и E'_{B-Y}, соответствует цветовому тону передаваемой детали изображения, а размер векто-

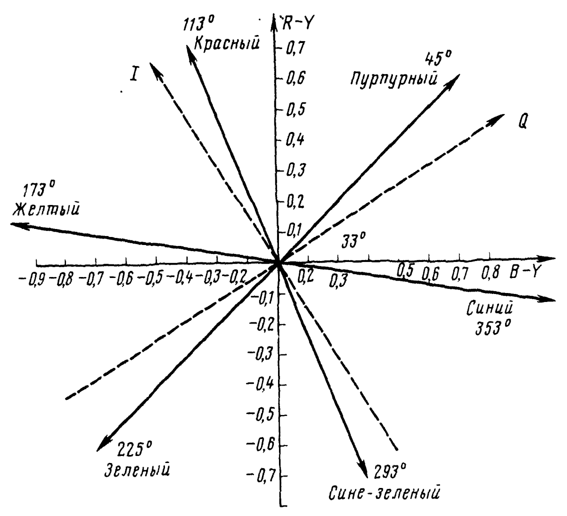


Рис. 7.2. Векторная диаграмма, соответствующая передаче основных и дополнительных цветов методом квадратурной модуляции

ра (его длина) характеризует насыщенность цвета. Это можно пояснить следующим образом. Допустим, что передается черно-белое изображение. В этом случае сигналы $E'_{R-Y}=0$ и $E'_{B-Y}=0$ (основное свойство цветоразностных сигналов). Результирующий сигнал при балансной модуляции также будет равен нулю. Таким образом, передаче черно-белых деталей изображения будет соответствовать точка начала координат на рис. 7.2. Максимальной насыщенности цвета передаваемого изображения будут соответствовать максимальные значения соответствующих векторов. Таким образом, длина вектора на рис. 7.2. характеризует насыщенность.

Из выражения (7.5) следует, что угол φ изменяется при изменении отношения E'_{R-Y}/E'_{B-Y}, т. е. когда изменяется цветовой тон. Таким образом, угол φ характеризует цветовой тон передаваемого изображения.

В системе NTSC в ее окончательном варианте были применены в качестве сигналов цветности не сигналы E'_{R-Y} и E'_{B-Y}, а производные от них — сигналы E'_I и E'_Q. Целесообразность перехода к этим сигналам объясняется тем, что для мелких предметов наше зрение дихроматично (двухцветно). Дихроматизм при нормальном зрении имеет место для предметов, которые при наблюдении имеют угловой размер 12—20′. При наблюдении предметов таких размеров зрительная система человека не различает разницы между синим и зеленым, красным и пурпурным цветами. Все цветовые оттенки воспринимаются как смесь оранжевого и голубого цветов. По мере дальнейшего уменьшения размеров деталей глаз перестает различать цвет, и мы видим мелкие детали как черно-белые. Если на нерезкую границу перехода от одного цвета к другому наложить резкий перепад яркости, то глаз увидит четкий переход от одного цвета к другому.

Применительно к телевидению из этого вытекают следующие выводы. Детали телевизионного изображения, наблюдаемые телезрителями под углом 12—20′, можно передавать в ограниченной цветовой гамме, соответствующей смеси оранжевых и голубых цветов. Исключение из передачи мелких цветных деталей не должно заметно отразиться на резкости цветовых переходов, если яркостные переходы воспроизводятся телевизионной системой резко.

Проведенные эксперименты показали, что все три сигнала должны передаваться телевизионной системой в полосе частот до 0,5 МГц. В полосе частот от 0,5 до 1,5 МГц необходимо передавать цветовые сигналы, соответствующие смеси оранжевого и голубого цветов. В полосе частот от 1,5 МГц до максимальной частоты спектра можно передавать один бесцветный яркостный сигнал.

Для выяснения того, как воспользоваться перечисленными факторами для более рационального построения телевизионной системы, обратимся к векторной диаграмме на рис. 7.2. Как отмечалось ранее, при модуляции видеосигналами цветности обоих квадратурных составляющих поднесущей результирующий вектор может занимать в зависимости от передаваемого цвета любое положение относительно осей. Если же исключить одну из квадратурных составляющих, то результирующий вектор будет совпадать с направлением другой квадратурной составляющей. Соответственно в этом случае могут быть переданы лишь те цветовые оттенки, которые соответствуют положению на плоскости векторной диаграммы сохранившейся квадратурной составляющей. Следует отметить, что оси сигналов E'_{R-V} и E'_{B-Y} занимают положение на диаграмме, не совпадающее с направлениями векторов, характерных для передачи оранжевых и голубых оттенков. Поэтому с помощью одного сигнала E'_{R-Y} или E'_{B-Y} требуемая гамма цветов не может быть получена. Иначе обстояло бы дело, если бы положение одной из квадратурных составляющих совпадало с нужным направлением. В этом случае полосу частот сигнала, передаваемого с помощью другой составляющей, можно было бы сократить до 0,5 МГц. Передать необходимые оранжево-красные и сине-зеленые цвета можно с помощью сигнала, вектор которого опережает на 33° вектор сигнала E_{R-Y}. Такое положение занимает на рис. 7.2 вектор I. Если за одну квадратурную составляющую принять вектор I, то вторая (Q) будет опережать на 33° вектор E'_{B-Y}.

Применение новых квадратурных составляющих позволяет осуществить передачу цветного изображения следующим образом. Сигнал яркости передается в полной полосе частот. Сигнал цветности E'_I передается в полосе частот до 1,5 МГц, а сигнал E'_Q в полосе до 0,5 МГц. В промежутке частот от 0,5 до 1,5 МГц

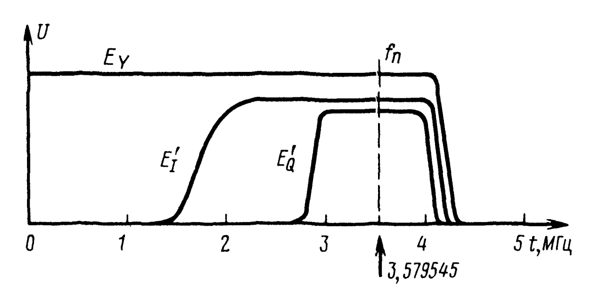


Рис. 7.3. Спектр полного сигнала в системе NTSC

передаются только два сигнала E'_Y и E'_I, обеспечивающие воспроизведение оранжево-красных и сине-зеленых цветовых оттенков.

Переход от сигналов E'_{R-Y} и E'_{B-Y} к сигналам E'_I и E'_Q позволяет несколько улучшить параметры системы, поскольку уменьшаются помехи со стороны сигналов цветности в яркостном канале и появляется возможность несколько повысить частоту поднесущей, что делает помеху на экране мелкоструктурной и, следовательно, менее заметной.

Применение сигналов E_I и E_Q, занимающих меньшую полосу частот в спектре яркостного сигнала, вместо обычных цветоразностных сигналов оказалось целесообразным в системе NTSC, так как ширина видеоканала в стандарте США составляет всего 4,2 МГц и размещение цветовой информации в спектре яркостного сигнала представляет определенные трудности. В европейском варианте американской системы, использованном для сравнения различных систем цветного телевидения с шириной видеоканала 6 МГц, применялись сигналы E'_{R-Y} и E'_{R-Y}.

Следует отметить, что сигналы E'_I и E'_Q обладают основным свойством цветоразностных сигналов. Так же, как и сигналы E'_{R-Y} и E'_{B-Y}, они равны нулю при передаче черно-белых деталей изображения. Формирование сигналов E'_I и E'_Q не представляет никаких принципиальных трудностей. Они могут быть получены из цветоразностных сигналов E'_{R-Y} и E'_{B-Y} путем матрицирования согласно уравнениям

$$E'_I=0{,}74\,E'_{R-Y}-0{,}27\,E'_{B-Y},\quad E'_Q=0{,}48\,E'_{R-Y}+0{,}41\,E'_{B-Y} \tag{7.6}$$

либо путем матрицирования сигналов E'_R, E'_G и E'_B согласно выражениям

$$E'_I=0{,}60\,E'_R-0{,}28\,E'_G-0{,}32\,E'_B,\quad E'_Q=0{,}21\,E'_R-0{,}52\,E'_G+0{,}31\,E'_B. \tag{7.7}$$

Спектр полного цветового сигнала, передаваемого по системе NTSC, представлен на рис. 7.3. Частота поднесущей сигналов цветности на этом рисунке указана в соответствии со стандартом США[1].

Как видно из рис. 7.3, сигнал E'_Q передается в полосе до 0,5 МГц с помощью двух боковых полос. Спектр сигнала E'_I несимметричен относительно поднесущей частоты. Сигнал E'_I передается в спектре до 1,5 МГц лишь с помощью нижней боковой полосы. Несимметричное ограничение боковых полос сигнала E'_I позволило максимально приблизить поднесущую частоту к верхней границе спектра яркостного сигнала.

Принципы разделения сигналов, переданных методом квадратурной модуляции

Разделение сигналов, переданных методов квадратурной модуляции, осуществляется применением синхронных детекторов. На синхронные детекторы помимо детектируемых сигналов необходимо подавать колебания цветовой поднесущей. Напомним, что в системе NTSC принята балансная модуляция и колебание поднесущей частоты в спектре полного сигнала отсутствует (поэтому на

[1] В США принято разложение на 525 строк при 60 полей / с. Полоса передаваемых частот яркостного сигнала до 4,2 МГц.

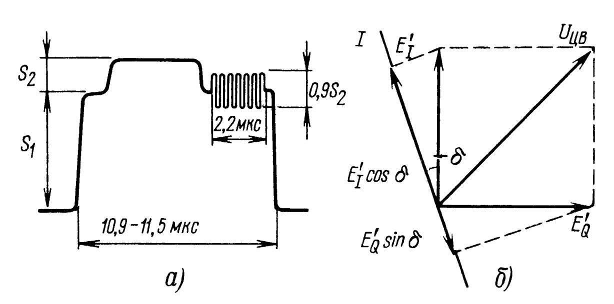


Рис. 7.4. Цветовая синхронизация в NTSC:
а — передача сигнала цветовой синхронизации на гасящем импульсе строчной частоты; *б* — возникновение перекрестных искажений при нарушении цветовой синхронизации

рис. 7.3 положение поднесущей отмечено штриховой линией). В системе NTSC для разделения сигналов цветности восстановление поднесущей должно быть осуществлено с высокой точностью. Необходимо, чтобы не только частота поднесущей, сформированной в приемнике, совпадала с частотой поднесущей, использованной для квадратурной модуляции на телевизионном центре, но и фазы этих колебаний различались не более чем на 5—7°. Для того чтобы осуществить восстановление поднесущей с такой точностью, в приемник вместе с полным телевизионным сигналом поступает сигнал цветовой синхронизации.

Сигнал цветовой синхронизации передается в интервале обратного хода развертки по строкам за строчным синхронизирующим импульсом. Сигнал цветовой синхронизации (рис. 7.4*а*) представляет собой пакет колебаний цветовой поднесущей (8—10 периодов). Частота и фаза вспышки точно равны частоте и фазе поднесущей в передающем устройстве. В приемнике сигнал цветовой синхронизации используется в схеме восстановления колебаний поднесущей частоты.

Принцип разделения сигналов, переданных методом квадратурной модуляции, основан на перемножении сигнала цветности $U_{цв}$, содержащего обе квадратурные составляющие и напряжения поднесущей частоты, совпадающей по фазе с какой-либо квадратурной составляющей. Такое перемножение осуществляется в синхронном детекторе. Предположим, что на синхронный детектор поступает сигнал $U_{цв} = E'_I + E'_Q$ и колебание поднесущей частоты $U_п = U_{пm}\cos\omega_п t$. Напряжение на выходе равно произведению двух входных напряжений:

$$U_{вых} = U_{цв}U_{пm}\cos\omega_n t = k'U_{пm}E'_I\cos\omega_n t\cos\omega_n t + k'U_{пm}E'_Q\sin\omega_n t\cos\omega_n t,$$

где k' — коэффициент пропорциональности. На основании известных формул тригонометрии

$$\cos\alpha\cos\alpha = \frac{1}{2}\,(1+\cos 2\alpha);\quad \sin\alpha\cos\alpha = \frac{1}{2}\,\sin 2\alpha \text{ и } k' = kU_{пm}/2,$$

получаем

$$U_{вых\,I} = kE'_I + kE'_I\cos 2\omega_n t + kE'_Q\sin 2\omega_n t.$$

Первый член правой части полученного выражения представляет собой сигнал E'_I. Два других члена соответствуют колебаниям, частота которых в два раза превышает частоту поднесущей. Эти колебания подавляются ФНЧ, включенным на выходе синхронного детектора. Таким образом, на выходе данного синхронного детектора имеется сигнал E'_I.

На вход детектора сигнала E'_Q подается также цветовой сигнал $U_{цв} = E'_I + E'_Q$ и колебание цветовой поднесущей, сдвинутое по фазе на 90° относительно исходного, т. е. $U_п = U_{пm}\cos(\omega_п t + 90°) = U_{пm}\sin\omega_п t$. Осуществляя перемножение, имеем на выходе синхронного детектора

$$U_{вых\,Q} = kE'_Q - kE'_Q\cos 2\omega_n t + kE'_I\sin 2\omega_n t.$$

Таким образом, выделяется второй сигнал E'_Q.

Ранее отмечалось, что для хорошего разделения сигналов необходимо точное восстановление поднесущей частоты в приемнике. Допустим, что восстановление

Рис. 7.5. Полный цветовой видеосигнал телевизионной системы

осуществлено с некоторой фазовой ошибкой, характеризующейся углом δ. . В этом случае колебание опорной поднесущей, используемой для выделения сигнала E'_I, займет на диаграмме положение, показанное на рис. 7.4*б*. Из рисунка видно, что значение полезного сигнала в данном случае оказывается пропорциональным cosσ (проекция вектора E'_I на ось *I*), т. е. имеет место некоторое уменьшение полезного сигнала. Отмеченное уменьшение сигнала не вызывает заметных искажений. Гораздо сильнее на качестве изображения сказывается то, что вектор E'_Q также образует проекцию на ось *I*, равную $E'_Q \sin\delta$. Это означает, что при синхронном детектировании на выходе синхронного детектора сигнала E'_I будет присутствовать в виде помехи часть сигнала E'_Q. В этом случае возникают так называемые перекрестные помехи.

Следует отметить, что фазовая ошибка при восстановлении сигнала цветовой поднесущей возможна не только из-за несовершенства узлов телевизионного приемника. Искажения, приводящие к перекрестным помехам, могут возникать и в тракте передачи сигналов цветного телевидения, например в аппаратуре радиорелейной линии. Как отмечалось ранее, за эталон при восстановлении поднесущей, частоты в приемнике в системе NTSC принимается частота и фаза сигнала поднесущей, размещенной на гасящем импульсе строчной частоты. Условия передачи сигнала цветовой синхронизации могут отличаться от условий передачи цветового сигнала. Это видно из рис. 7.5, на котором показан полный сигнал системы NTSC, состоящий из сигнала цветности $U_{цв}$, наложенного на яркостный сигнал E'_Y. Как следует из рис. 7.5, сигнал яркости является «пьедесталом» для колебаний цветовой поднесущей. В зависимости от значения E'_Y сигнал цветности занимает тот или иной диапазон уровней. Положение же сигнала цветовой синхронизации остается неизменным. Как показала практика, при передаче сигналов цветного телевидения по каналам связи возникают так называемые дифференциально-фазовые искажения. Искажения этого вида проявляются в том, что возникают фазовые сдвиги между колебаниями цветовой синхронизации и модулированными сигналами цветности. Эти фазовые сдвиги зависят от яркостного сигнала E'_Y. На рис. 7.5 показан полный сигнал при передаче изображения вертикальных цветных полос. Вследствие искажений типа дифференциальная фаза возникают фазовые сдвиги σ_1 при передаче белого цвета, σ_2 — при передаче желтого, σ_3 — при передаче голубого и т. д. В этом случае правильное детектирование сигналов E'_I и E'_Q не представляется возможным.

Высокая точность, с которой необходимо выдерживать все фазовые соотношения в полном сигнале, приводит к необходимости предъявлять очень жесткие требования к характеристикам всех звеньев телевизионной системы и линии связи. Это послужило причиной для отказа ряда стран от применения системы NTSC.

Структурная схема кодирующего устройства системы NTSC

Упрощенная структурная схема кодирующего устройства представлена на рис. 7.6. Исходными сигналами являются сигналы E'_R, E'_G и E'_B, получаемые после гамма-коррекции. С помощью матрицы из этих сигналов формируются сигналы E'_Y, E'_I и E'_Q.

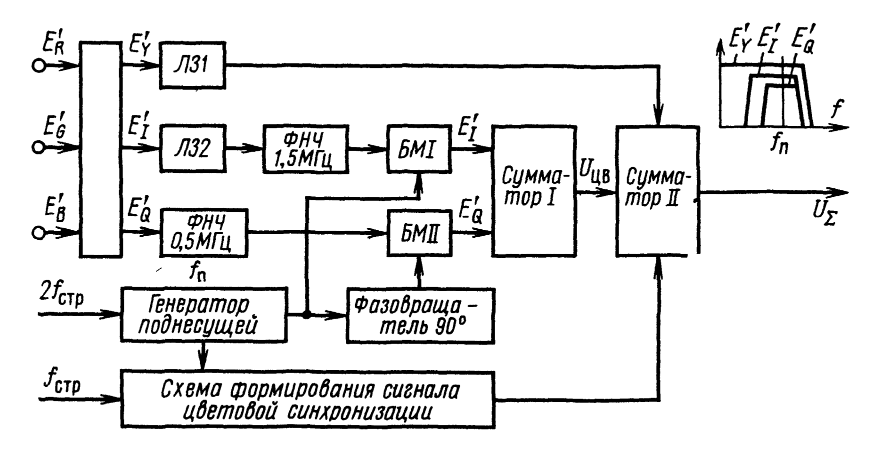


Рис. 7.6. Структурная схема кодирующего устройства системы NTSC

Сигнал E'_Q проходит через ФНЧ, с помощью которого из его спектра удаляются все частотные компоненты, лежащие выше 0,5 МГц. С выхода фильтра сигнал поступает на балансный модулятор *БМII*. Сигнал E'_I через линию задержки *ЛЗII* поступает на ФНЧ, который не пропускает частотные компоненты спектра, лежащие выше 1,5 МГц. С выхода фильтра сигнал поступает на балансный модулятор *БМI*. На балансные модуляторы поступают колебания от генератора поднесущей на *БМI* непосредственно, а на *БМII* после фазовращателя, обеспечивающего сдвиг фаз 90°. Модулированные сигналы E'_I и E'_Q складываются в суммирующем устройстве *I*. В суммирующем устройстве *II* происходит сложение сигнала цветности $U_{цв}$ с сигналом яркости, поступающего на сумматор через *ЛЗI*.

Поясним необходимость задержки сигналов E'_Y и E'_I относительно сигнала E'_Q. Известно, что при прохождении сигналов через цепи с ограниченной полосой пропускания (к таким цепям относятся ФНЧ) наблюдается задержка сигнала. Задержка тем больше, чем у́же полоса пропускания устройства. Наибольшую задержку в рассматриваемом кодирующем устройстве претерпевает сигнал E'_Q. Для выравнивания временного положения сигналов в тракт сигналов E'_Y и E'_I включаются линии задержки, обеспечивающие одновременность появления всех суммируемых сигналов на входах сумматора *II*.

Генератор цветовой поднесущей в кодирующем устройстве системы NTSC является достаточно сложным устройством. Для обеспечения частотного перемежения спектров сигналов яркости и цветности частота колебаний этого генератора должна быть нечетной полугармоникой строчной частоты. Поэтому применяются соответствующие цепи формирования, обеспечивающие связь частоты поднесущей с частотой строчной развертки.

Формирование сигнала цветовой синхронизации осуществляется в кодирующем устройстве с помощью специальной стробирующей схемы, выделяющей из непрерывного колебания, поступающего от генератора, пакет поднесущей необходимой длительности. Замешивание сигнала цветовой синхронизации в полный сигнал осуществляется сумматором *II*. Импульсы синхронизации и гашения поступают на сумматор *II* вместе с сигналом E'_Y.

Структурная схема декодирующего устройства

Структурная схема декодирующего устройства представлена на рис. 7.7. После УПЧ сигналы разделяются по двум каналам: каналу звука и видеоканалу. Для устранения промежуточной частоты звукового сопровождения сигнал на видеодетектор поступает через режекторный контур *I*. С выхода видеодетектора сигнал поступает на полосовой усилитель, выделяющий из спектра полного сиг-

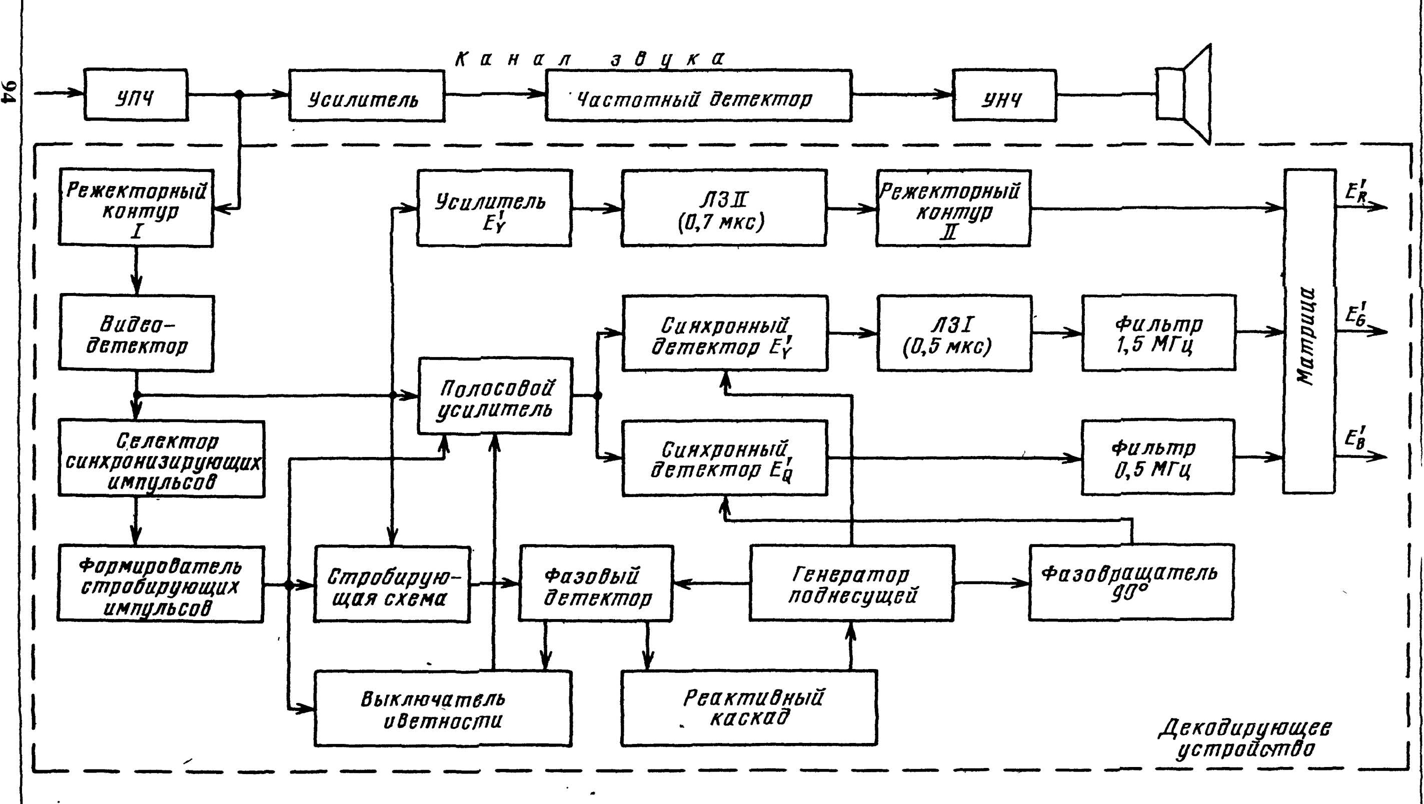


Рис. 7.7. Структурная схема декодирующего устройства NTSC

нала спектральные компоненты, лежащие в частотном диапазоне 2—4,5 МГц, отведенном для передачи сигналов цветности. С выхода полосового усилителя сигнал поступает на синхронные детекторы сигналов E'_I и E'_Q. Выделенный сигнал E'_Q через ФНЧ с полосой пропускания до 0,5 МГц поступает на матрицу. С помощью данного фильтра подавляются высокочастотные колебания, образующиеся в результате детектирования. С выхода синхронного детектора E'_Y сигнал поступает на матрицу через линию задержки и фильтр. Линия задержки обеспечивает совпадение во времени на входе матрицы сигналов E'_I и E'_Q. Разница во временнóм положении сигналов E'_I и E'_Q составляет 0,5 мкс за счет более узкой полосы пропускания фильтра сигнала E'_Q. Полоса пропускания ФНЧ для сигнала E'_I 1,5 МГц.

Формирование сигнала опорной поднесущей частоты осуществляется следующим образом. Строчные синхроимпульсы выделяются с помощью селектора и подаются на формирователь стробирующих импульсов. В стробирующей схеме из полного сигнала выделяется сигнал цветовой синхронизации, который поступает на фазовый детектор. В фазовом детекторе осуществляется сравнение фазы сигнала цветовой синхронизации колебаний, вырабатываемых генератором поднесущей. Полученный сигнал ошибки управляет реактивным каскадом, который подстраивает фазу колебаний генератора. С выхода генератора опорное колебание поступает на синхронный детектор сигнала E_I' и с выхода фазовращателя на синхронный детектор E_Q'.

В структурной схеме декодирующего устройства предусмотрено выключение каналов цветности, которое осуществляется с помощью специальной схемы при передаче черно-белой программы. Кроме того, предусмотрено закрывание полосового усилителя (при приеме цветной программы) на время передачи сигнала цветовой синхронизации. Каналы цветности при приеме черно-белой программы закрываются для устранения помех на экране кинескопа, поступающих с выходов синхронных детекторов. Эти помехи образуются в результате детектирования в синхронных детекторах биений между составляющими сигнала яркости, прошедшими через полосовой усилитель, и несинхронными колебаниями генератора цветовой поднесущей. Усилитель закрывается стробирующими импульсами при цветной передаче изображения на время передачи сигнала вспышки цветовой синхронизации, для того, чтобы этот сигнал не поступал на синхронные детекторы и не образовывал на изображении помехи в виде вертикальной полосы в левой части экрана.

Канал яркости включает усилитель, линию задержки и режекторный контур *II*. Линия задержки обеспечивает совпадение во время сигналов яркости и цветности, подводимых к цветному кинескопу. С помощью режекторного контура из сигнала яркости удаляются спектральные компоненты цветового сигнала, расположенные в районе поднесущей частоты. При этом обеспечивается меньшая заметность помех, образующихся на экране кинескопа из-за сигналов, передаваемых на поднесущей.

Выбор частоты цветовой поднесущей и ее формирование

Уже отмечалось, что сигналы цветности E_I' и E_Q' передаются на одной поднесущей. Выбор частоты поднесущей является достаточно сложной задачей, поскольку при ее решении приходится учитывать ряд технических требований, которым этот выбор должен удовлетворять. Перечислим эти требования.

Частота поднесущей по возможности должна быть более высокой. Чем выше частота поднесущей, тем меньше заметна помеха, которую она образует на экране приемника, так как «рисунок» будет иметь более мелкую структуру.

Частота поднесущей должна соответствовать нечетной гармонике полустрочной частоты. Такой выбор частоты поднесущей обеспечивает частотное перемножение спектров сигналов яркости и цветности и компенсацию помехи благодаря интегрирующему действию глаза наблюдателя.

Частота биений между несущей частотой передатчика звукового сопровождения и поднесущей должна быть нечетной гармоникой полустрочной частоты. Напомним, что звуковое сопровождение передается на несущей, расположенной выше несущей сигналов изображения. Разнос частот между этими несущими определяется стандартом. В советской телевизионной системе разнос частот между двумя

несущими составляет 6,5 МГц. В американском стандарте частота несущей звукового сопровождения превышает частоту несущей сигналов изображения на 4,5 МГц. Если выбрать частоту поднесущей 3,58 МГц (что приблизительно соответствует принятой в NTSC частоте поднесущей), то в спектре модулированного колебания она будет отстоять от несущей звукового сопровождения на 4,5 – 3,58 = 0,920 МГц. В детекторе видеосигнала возникнут биения с разностной частотой 920 кГц. Так как сигнал звукового сопровождения передается методом ЧМ, эти биения будут модулированы по частоте. Уменьшение заметности биений возможно, если разностная частота будет нечетной гармоникой полустрочной частоты.

Наконец, последнее техническое требование к выбору частоты поднесущей заключается в обеспечении удобства технической реализации генератора поднесущей, частота которого должна соответствовать нечетной гармонике полустрочной частоты. На практике наиболее удобным решением является применение в цветном телевидении специального синхрогенератора. Как известно, в черно-белом телевидении в синхрогенераторе задающий генератор работает на двойной строчной частоте. Частоты строк и кадров получаются за счет применения делителей частоты. В цветном телевидении оказалось удобным использовать в качестве задающего генератора генератор поднесущей, а частоты строк и полей формировать из опорной частоты методом деления. По этой причине частота поднесущей должна быть выбрана так, чтобы число, на которое необходимо осуществлять деление, состояло из возможно малых сомножителей. Тогда деление можно выполнить применением последовательного включения делителей, каждый из которых осуществлял бы деление в небольшое число раз. В этом случае можно добиться надежной работы делителя в целом.

В системе NTSC выбор частоты поднесущей в соответствии с перечисленными требованиями был осуществлен следующим образом. Частота поднесущей была выбрана $f_п = 3{,}579545$ МГц. Таким образом, первое техническое требование, состоящее в том, что частота поднесущей должна быть достаточно высокой, выполнено. Однако выбранная частота поднесущей не соответствует нечетной гармонике полустрочной частоты стандартной системы черно-белого телевидения США. В этом нетрудно убедиться. Если разделить частоту поднесущей в 455 раз, получим 3579445:455 = 7867,132 Гц. В черно-белой системе телевидения США принята частота строчной развертки $f_{стр} = 15750$ Гц и, следовательно, $f_{стр}/2 = 7875$ Гц. Таким образом, между значениями полустрочной частоты имеется некоторая разница.

С другой стороны, эта разница очень мала, она не превышает 0,1%. Однако «малость» данного расхождения — понятие справедливое применительно только к строчной развертке. Действительно, отклонение частоты строчной развертки на 0,1% (менее 8 Гц по абсолютному значению) не нарушит строчной синхронизации черно-белого телевизора. В обычной черно-белой системе стабильность частоты строчной развертки гораздо ниже и генератор строчной развертки телевизора подстраивается по частоте в гораздо больших пределах. Если же вычислить 0,1% от частоты поднесущей, то получится абсолютное значение ухода ее частоты от ближайшей нечетной гармоники полустрочной частоты. Уход составляет 3579 Гц, т. е. приблизительно на $^1/_4$ частоты строчной развертки. Таким образом поднесущая не попадает на середину интервала между двумя гармониками строчной частоты и правильного перемежения спектров сигналов яркости и цветности не произойдет.

Для перемежения спектров при разработке стандарта на систему NTSC было принято решение изменить частоты строчной и кадровой разверток, принять частоту строчной развертки $f_{стр} = 15734{,}264$ Гц, а частоту полей $f_{полей} = 59{,}94$ Гц (напомним, что в стандартной системе черно-белого телевидения в США частота полей составляла 60 Гц). Изменение частоты полей также незначительно и не приводит к нарушению нормальной синхронизации кадровой развертки при приеме цветных программ на черно-белые приемники. С переходом на новые частоты строчной и кадровой разверток поднесущая 3,579545 МГц становится 455-й гармоникой полустрочной частоты и условия обеспечения точного частотного перемежения спектров сигналов яркости и цветности выполняются.

Может возникнуть вполне закономерный вопрос: зачем выбирать такую частоту поднесущей, чтобы затем изменять частоты строк и полей? Не проще ли

выбрать другую частоту поднесущей? Обратимся к последнему из перечисленных технических требований. Частота биений между несущей звукового сопровождения и поднесущей должна быть нечетной гармоникой полустрочной частоты. В рассмотренном случае частота биений $f_б = 4,5 - 3,579545 = 0,920455$ МГц, что соответствует 117-й гармонике полустрочной частоты. Таким образом и последнее техническое требование удовлетворено. Иной выбор частоты поднесущей (при котором не пришлось бы изменять частоты строк и полей) привел бы к необходимости изменять частотный разнос несущих изображения и звукового сопровождения на 4,5кГц, что потребовало бы перестройки канала звукового сопровождения всех приемников черно-белого телевидения, находящихся в эксплуатации.

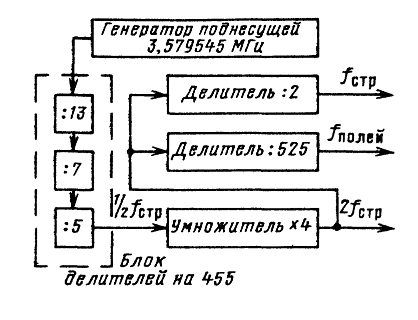


Рис. 7.8. Структурная схема задающей части синхрогенератора системы NTSC

Формирование поднесущей частоты, связанной с частотами строчной и кадровой разверток, осуществляется в синхрогенераторе, который строится иначе, чем в черно-белом телевидении. Структурная схема синхрогенератора в системе NTSC представлена на рис. 7.8. Задающий генератор формирует поднесущую 3,579545 МГц с высокой стабильностью. Блок делителей обеспечивает деление этой частоты в 455 раз. Он состоит из трех последовательно включенных делителей с коэффициентом деления 13,7 и 5 раз ($13 \times 7 \times 5 = 455$). На выходе блока делителей имеется частота $f_{стр}/2$. Колебания полустрочной частоты поступают на умножитель, обеспечивающий умножение в 4 раза. На выходе умножителя образуются колебания двойной строчной частоты. Работа остальных узлов осуществляется так же, как в обычном синхрогенераторе: из двойной строчной частоты делением на два получается строчная частота и делением в 525 раз частота полей.

Глава восьмая. СИСТЕМА ЦВЕТНОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ SECAM

Развитие системы SECAM

Разработка системы SECAM была начата во Франции в 1953 г. инженером Анри де Франсом. Дальнейшие работы, проводимые во Франции, а с 1965 г. совместные работы французских и советских специалистов были направлены на доработку системы и оптимизацию ее параметров. В результате была создана совместная система цветного телевидения SECAM-IIIб, параметры которой в 1974 г. были в СССР стандартизированы (ГОСТ 19432 — 74 «Телевидение цветное. Основные параметры системы телевизионного вещания»). Цветное телевизионное вещание по системе SECAM началось в СССР 1 октября 1967 г.

Кроме СССР и Франции, система SECAM принята для вещания в ГДР, ЧССР, НРБ, ВНР, ряде стран Северной Африки. Название системы SECAM произошло от французских слов Séquence de Couleurs Avec Mèmoire — поочередность цветов с памятью.

Принципы построения системы SECAM

Возможность поочередной передачи цветовых сигналов основывается на особенностях зрительного аппарата человека, позволяющего воспринимать полосу частот сигналов цветности приблизительно до 1,5 МГц. Так как наименьшие по размеру детали передаются сигналами с граничными частотами спектра, составляющими 6—6,5 МГц (сигнал E_Y), то окрашенные детали будут иметь размер вдоль строки (6 МГц/1,5 МГц), в 4 раза больший, чем самые мелкие черно-белые детали. Аналогично можно считать допустимым увеличение в 3—4 раза размера окрашенных мелких деталей в вертикальном направлении. На этом основан принцип поочередной передачи цветоразностных сигналов в системе SECAM.

В системе SECAM из сигналов, поступающих с цветной телевизионной камеры, E_R, E_G и E_B формируются сигналы E_Y, E_{R-Y} и E_{B-Y}. Эти сигналы формируются непрерывно кодирующей матрицей, т. е. существуют одновременно. Сигнал E_Y передается непрерывно, как в черно-белом телевидении, а сигналы E_{R-Y} и E_{R-Y} передаются поочередно: в течение одной строки — сигнал E_{R-Y}, в течение следующей — E_{B-Y} и т. д. Таким образом, для передачи используется только часть информации, выдаваемой цветной камерой. Половина строк растра представлена в цветовом сигнале компонентой E_{R-Y} и половина — E_{B-Y}. Иными словами, для сигналов цветности развертка в полном кадре будет содержать вдвое меньшее число строк, что приведет к соответствующему увеличению размеров окрашенных деталей по вертикали. Однако общая четкость изображения в вертикальном направлении сохранится, так как сигнал E_Y передается в полном спектре.

В приемнике цветного изображения на модуляторы кинескопа необходимо подавать одновременно три сигнала E_{R-Y}, E_{G-Y} и E_{B-Y}. Для получения непрерывной последовательности сигналов E_{R-Y} и E_{B-Y} и формирования с помощью матрицы третьего цветоразностного сигнала E_{G-Y} в приемнике SECAM, используется ячейка памяти — линия задержки со временем задержки на одну строку $\tau_{зад} = T_{стр} = 64$ мкс. При воспроизведении цветного изображения каждый сигнал цветности используется дважды: один раз он берется со входа линии задержки, а другой — с ее выхода. Процесс формирования непрерывных сигналов E_{R-Y} и E_{B-Y} с помощью линии задержки поясняется рис. 8.1. Так как сигналы цветности передаются поочередно через одну строку, а задержка линии равна длительности одной строки, сигналы цветности на входе и выходе линии оказываются разными, т. е. если в данный момент на входе имеется сигнал E_{R-Y}, то на выходе E_{B-Y}. Таким образом, линия задержки дает возможность всегда иметь одновременно оба сигнала цветности. При этом, однако, предполагается, что в пропущенных строках цветовой сигнал практически не отличается от сигнала соседних. После восстановления непрерывности сигналов E_{R-Y} и E_{B-Y} можно получить с помощью матрицы сигнал E_{G-Y}.

Как видно из рис. 8.1, сигналы E_{R-Y} и E_{B-Y} и на входе и на выходе линии задержки периодически меняются местами. Отсюда возникает необходимость соответствующего переключения сигналов так, чтобы на вход канала обработки сигнала $R-Y$ всегда поступал сигнал E_{R-Y}, а на вход канала $B-Y$ — сигнал E_{B-Y}. Для переключения сигналов в приемнике SECAM используется электронный коммутатор.

Принцип построения системы SECAM в упрощенном виде поясняется структурными схемами передающей и приемной части, показанными на рис. 8.2. Сигналы E_R, E_G и E_B, полученные с помощью трех передающих трубок в камере, усиливаются и поступают на матрицу, где формируются сигналы E_Y, E_{R-Y} и E_{B-Y}. С помощью электронного коммутатора, переключающегося после окончания каждой строки, формируется последовательность чередующихся цветоразностных сигналов. Сигналы E_{R-Y} и E_{B-Y} по очереди управляют частотой генератора поднесущей. Полученный ЧМ сигнал в блоке сложения смешивается с сигналом E_Y и образуется полный цветовой сигнал.

В телевизоре необходимо из принятого цветового сигнала сформировать цветоразностные сигналы E_{R-Y}, E_{B-Y} и E_{G-Y}. Полный сигнал, содержащий информацию о яркости, и сигналы цветности, передаваемые с помощью поднесущей, имеются на выходе видеоусилителя (рис. 8.2б). С выхода видеоусилителя через полосовой фильтр этот сигнал поступает на вход линии задержки и на элект-

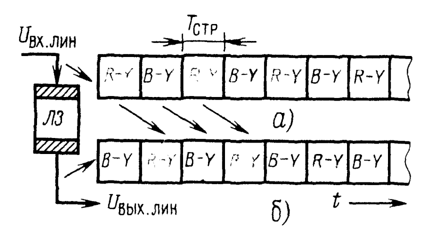


Рис. 8.1. Получение одновременных сигналов с помощью линии задержки

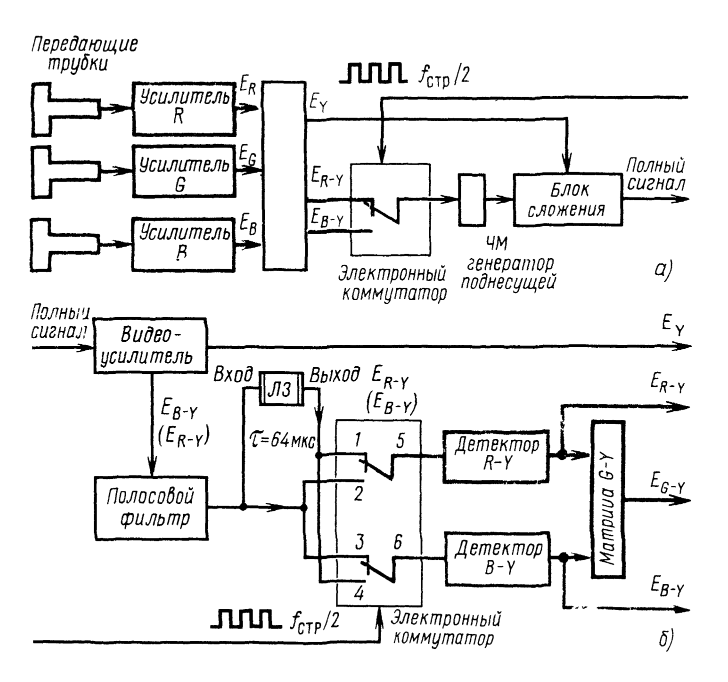


Рис. 8.2. Пояснение принципа передачи сигналов в системе SECAM. Упрощенная функциональная схема кодирующего *(а)* и декодирующего *(б)* устройства системы SECAM

ронный коммутатор. Электронный коммутатор имеет четыре входа и два выхода. Сигнал с выхода линии задержки подается на входные зажимы *1* и *4,* а сигнал со входа линии — на зажимы *2* и *3*. Если с видеоусилителя поступает сигнал E_{B-Y}, то переключатели находятся в верхнем положении, как показано на рис. 8.2*б*. В этом случае сигнал E_{B-Y} поступает со входа *3* на выходной зажим *6* и детектор *B—Y*. Сигнал E_{R-Y}, передаваемый в течение предыдущей строки, берется с выхода линии задержки и поступает на детектор *R—Y* со входа *1*. В течение следующей строки переключатели коммутатора находятся в нижнем положении, т. е. в замкнутом состоянии находятся контакты *2—5* и *4—6*. В этом случае сигналы на детекторы *R—Y* и *B—Y* поступают следующим образом. Сигнал E_{R-Y}, который теперь имеется на выходе видеоусилителя (т. е. на входе линии задержки), через замкнутые контакты *2—5* поступает на детектор *R—Y*. Сигнал E_{B-Y} берется с выхода линии задержки и поступает на соответствующий детектор через контакты *4—6*.

С выхода детекторов сигналы поступают на матрицу, формирующую третий цветоразностный сигнал E_{G-Y}. Для управления электронным коммутатором используются импульсы прямоугольной формы. Полный цикл коммутации осуществляется за время двух строк (в течение одной строки переключатели находятся в верхнем положении, в течение другой — в нижнем), поэтому частота коммутирующих импульсов равна $f_{стр}/2$. Нормальная работа приемного устройства возможна лишь в том случае, когда порядок переключения коммутатора соответствует очередности поступления цветоразностных сигналов. Это возможно лишь тогда, когда электронный коммутатор в телевизионном приемнике работает синфазно с электронным коммутатором кодирующего устройства. Для обеспечения указанной синфазности в приемник вместе с основным набором сигналов необходимо передавать дополнительный сигнал, с помощью которого можно установить правильную фазу работы электронного коммутатора. Следует отметить, что синхронизация электронного коммутатора необходима для правильного приема цветовых сигналов. Синхронизация генераторов строчной и кадровой разверток в цветном телевизоре осуществляется с помощью строчных и кадровых синхроим-

пульсов так же, как в приемнике черно-белого телевидения. Сигнал, устанавливающий фазу работы электронного коммутатора, называется сигналом цветовой синхронизации.

Предыскажение сигналов в системе SECAM

Для передачи цветоразностных сигналов в системе SECAM используется частотная модуляция несущей (ЧМ).

Процесс модуляции несущей удобно представить в следующем виде:

$$u(t) = A\cos[\omega t + \varphi(t)], \quad (8.1)$$

где A — амплитуда синусоидальной несущей; $\varphi(t)$ — фазовый угол.

В системах с амплитудной модуляцией амплитуда A модулируется передаваемым сообщением. Следовательно, информация, имеющаяся в сообщении $f(t)$, переносится за счет изменений амплитуды несущей. Синусоидальное колебание определяется тремя параметрами — амплитудой, частотой и фазой, поэтому имеется возможность передачи той же информации изменением либо частоты, либо фазы несущей. Поскольку фаза колебания связана с частотой, обычно оба вида модуляции обозначают одним термином — угловая модуляция.

Связь между частотной и фазовой (ФМ) модуляциями удобно рассматривать исходя из векторного представления колебаний. Предположим, что вектор (рис. 8.3) вращается относительно точки O против часовой стрелки, так что за время Δt угол между вектором и исходной вертикальной осью составил $\Delta\Theta$. Угловая скорость вектора $\omega = \Delta\Theta / dt$. При известной угловой скорости ω угол $\Delta\Theta$, характеризующий фазу колебания, может быть определен из соотношения $\Delta\Theta = \omega\Delta t$. Если угловая модуляция отсутствует и ω постоянна, то в момент t фазовый угол составит $\Theta = \omega t$. Если же угловая скорость изменяется (имеет место ЧМ), то для определения фазового угла следует воспользоваться выражением

$$\Theta(t) = \int_0^t \omega(t)\, dt. \quad (8.2)$$

При применении ФМ несущей $\Theta(t)$ пропорциональна напряжению передаваемого сигнала, и частота может быть определена из выражения (8.2)

$$\omega(t) = d\Theta(t)/dt, \quad (8.3)$$

т. е. мгновенное значение частоты несущей при ФМ пропорционально скорости изменения фазового угла.

Описанные свойства колебания при угловой модуляции можно сформулировать следующим образом. Изменение частоты во времени по закону $\omega(t)$ эквивалентно изменению полной фазы $\Theta(t)$ по закону интеграла от $\omega(t)$, а изменение полной фазы по закону $\Theta(t)$ эквивалентно изменению частоты по закону производной от $\Theta(t)$. Это положение определяет связь между изменением частоты и фазы и указывает на общность, существующую между разновидностями угловой модуляции — модуляцией частоты и модуляцией фазы.

Частотно- и фазомодулированное колебания не являются гармоническими и могут быть представлены в спектральной форме [12].

Основным параметром, характеризующим ширину спектра ЧМ колебания, является индекс ЧМ, определяемый соотношением

$$m = \omega_д/\Omega = f_д/F, \quad (8.4)$$

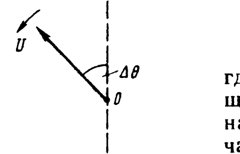


Рис. 8.3 Векторное представление сигнала

где $\omega_д = 2\Pi f_д$ — девиация (отклонение) частоты несущей от номинального значения; $\Omega = 2\Pi F$ — максимальная частота спектра модулирующего колебания. Примечательно, что индекс модуляции не зависит от номинального значения несущей частоты, а целиком определяется значением частотного отклонения и верхней граничной частотой спектра модулирующего сигнала F.

При малых индексах ЧМ ($m < 0{,}5$) ширина спектра ЧМ колебания с достаточной для практики точностью может быть принята равной удвоенному значению F, т. е. удвоенной ширине спектра передаваемого сигнала. В этом случае ширина спектра, получаемая при ЧМ, не отличается от ширины спектра АМ. При увеличении m спектр модулированного колебания расширяется и достигает значения $2f_д$, т. е. ширина спектра оказывается равной удвоенному значению частотного отклонения.

В системе SECAM для передачи цветоразностных сигналов применяется ЧМ с индексом модуляции $m \approx 0{,}2$. Если цветоразностные сигналы передаются в полосе частот до 1,5 МГц, то согласно сказанному общий спектр модулированного сигнала составит 3 МГц. Поскольку для обеспечения частотного уплотнения допустимо размещение спектра сигналов цветности в высокочастотной области спектра сигнала яркости, большее увеличение индекса модуляции не представляется возможным.

Отличительная особенность систем с ЧМ состоит в том, что высокая помехоустойчивость может быть достигнута только при достаточно больших значениях m. В системе SECAM, если не принять специальных мер, помехоустойчивость при приеме цветоразностных сигналов будет недостаточно высокой, т. е. при приеме сигналов шумовые помехи, проникающие на экран телевизора через каналы цветности, будут сильно снижать качество изображения.

Можно повысить помехоустойчивость при приеме цветоразностных сигналов, не прибегая к увеличению индекса ЧМ и не расширяя спектр. Это связано с применением частотных предыскажений передаваемых сигналов и последующей их коррекцией на приемном конце. Принцип действия частотных предыскажений основан на особенностях воздействия помех на ЧМ сигнал.

Отметим, что помехи, воздействуя на полезный сигнал, могут изменять его амплитуду, фазу и частоту. При приеме АМ сигналов под воздействием помехи существенно изменится амплитуда сигнала, при приеме ЧМ сигналов наиболее опасным является паразитное изменение частоты и фазы колебания. Обычно в ЧМ приемниках принятый сигнал подвергается амплитудному ограничению, поэтому паразитная АМ (если она не чрезмерно велика) устраняется.

Изменение частоты, связанное с влиянием помехи, рассмотрим на примере, когда полезная девиация частоты равна нулю (модулирующий сигнал отсутствует), а помеха представляет собой гармоническое колебание, попадающее в полосу пропускания канала цветности. В этом случае

$$u_с = U_с \sin \omega_с t, \quad u_п = U_п \sin \omega_п t. \qquad (8.5)$$

Здесь индексы с и п обозначают соответственно сигнал и помеху. Напряжения $U_с$ и $U_п$, воздействующие раздельно на детекторы приемника АМ и ЧМ, могут образовать на их выходах только постоянные напряжения, которые не проявляются в виде помех. Иная картина наблюдается при воздействии двух гармонических напряжений. В этом случае вследствие нелинейности процесса детектирования возникают низкочастотные составляющие, являющиеся результатом взаимодействия сигнала и помехи.

Для определения напряжения на выходе детектора сложим напряжения сигналов и помехи:

$$u = u_с + u_п = U_с \sin \omega_с t + U_п \sin \omega_п t. \qquad (8.6)$$

Введем обозначения

$$M_п = U_п / U_с, \quad \Omega_п = \omega_п - \omega_с, \qquad (8.7), (8.8)$$

где $M_п$ — отношение амплитуды помехи к амплитуде сигнала, а $\Omega_п$ — расстройка частоты помехи относительно частоты несущей.

Заменим во втором слагаемом выражения (8.6) $\omega_п$ на $\omega_с + \Omega_п$, так как

$$\omega_п = \omega_с + \Omega_п. \qquad (8.9)$$

Имеем

$$u = U_с \sin \omega_с t + U_п \sin(\omega_с + \Omega_п) t. \qquad (8.10)$$

Воспользовавшись известным тригонометрическим соотношением $\sin(\alpha+\beta) = \sin\alpha\cos\beta + \cos\alpha\sin\beta$, преобразуем (8.10) к виду

$$u = U_c \sin\omega_c t + U_п \cos\Omega_п t \sin\omega_c t + U_п \sin\Omega_п t \cos\omega_c t =$$

$$= U_c[(1 + M_п \cos\Omega_п t)\sin\omega_c t + M_п \sin\Omega_п t \cos\omega_c t]. \quad (8.11)$$

Окончательно выражение (8.11) можно переписать

$$u = A(t)\sin[\omega_c t + \Theta(t)], \quad (8.12)$$

где $A(t) = U_c\sqrt{1 + M_п^2 + 2M_п\cos\Omega_п t}$; (8.13)

$$\Theta(t) = \operatorname{arctg}\frac{M_п \sin\Omega_п t}{1 + M_п\cos\Omega_п t}. \quad (8.14)$$

Сравнив (8.1) с (8.12), видим их полную идентичность. Таким образом, в результате сложения сигнала и помехи получаем колебание, модулированное по амплитуде (8.13) и по фазе (8.14). Колебания амплитуды и фазы происходят с частотой $\Omega_п$, являющейся разностью между частотами сигнала и помехи.

Оценим теперь воздействие, оказываемое на амплитудный и частотный детекторы результирующего колебания. Положим для упрощения задачи, что $M_п \ll 1$. В этом случае выражение (8.13) можно заменить следующим приближенным равенством:

$$A(t) = U_c(1 + M_п\cos\Omega_п t), \quad (8.15)$$

которое представляет собой обычную запись АМ колебания.

Амплитудный детектор в приемнике реагирует на амплитуду приходящего колебания. Если считать, что детектор имеет коэффициент передачи k, то напряжение на его выходе

$$U_д = kU_c(1 + M_п\cos\Omega_п t). \quad (8.16)$$

Раскрыв скобки, заменив $M_п$ на отношение $u_п/u_c$ и проведя сокращения, получим

$$U_д = kU_c + kU_п\cos\Omega_п t. \quad (8.17)$$

Первый член этого выражения представляет постоянную составляющую, второй член — помеху, величина которой пропорциональна $U_п$, а частота равна разности частот $\omega_п - \omega_c$.

Отметим, что величина помехи не зависит от частоты. При уходе частоты помехи от частоты несущей принимаемого сообщения изменяется разностная частота $\Omega_п = \omega_п - \omega_c$, т. е. при приеме сигнала будет меняться частота помехи, а ее амплитуда (при условии равномерности частотной характеристики приемника) будет оставаться неизменной. Таким образом, воздействие гармонической помехи на приемник с АМ имеет постоянную интенсивность в пределах полосы пропускания.

Рассмотрим теперь случай воздействия той же помехи на приемник, предназначенный для приема ЧМ сигналов. Обычно в таком приемнике перед частотным детектором включается амплитудный ограничитель, который устраняет паразитную АМ. Действие амплитудного ограничителя, устраняющего паразитную амплитудную модуляцию, поясняется рис. 8.4, где используется векторное представление колебания несущей и гармонической помехи. Вектор $O—O'$, представляющий собой колебания несущей частоты, вращается вокруг точки O с угловой частотой ω_c. Вектор $O'a$, начало которого совмещено с точкой O', вращается с угловой частотой $\omega_п$ относительно точки O. Поскольку угловые частоты вращения обоих векторов различны, вектор, характеризующий помеху, можно считать вращающимся относительно неподвижного вектора OO' с частотой $\Omega_п = \omega_п - \omega_c$. Амплитуда результирующего вектора изменяется от минимального значения, когда векторы OO' и $O'a$ лежат на одной линии и направлены встречно до максимального, а колебания, соответствующие векторам OO' и $O'a$, окажутся синфазными. Точка a описывает окружность в плоскости чертежа.

Устранение паразитной АМ возможно, если минимальное значение результирующего колебания окажется меньше порогового уровня $U_{пор}$ (рис. 8.4), определяемого ограничителем. Обычно прием осуществляется при условиях, когда амплитуда сигнала превышает амплитуду помехи на значение, не меньшее, чем порог ограничения, т. е. можно считать, что паразитная АМ полностью устраняется.

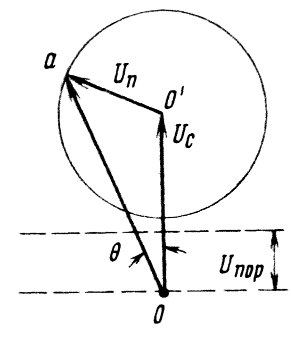


Рис. 8.4. Сложение сигнала с помехой

Из рис. 8.4 видно, что в результате сложения напряжения несущей с напряжением помехи угол изменяется во времени, т. е. результирующее колебание будет модулировано по фазе. Напряжение помехи на выходе частотного детектора пропорционально частотному отклонению, создаваемому помехой. Согласно (8.3) частотное отклонение связано с фазовым сдвигом производной, т. е. значение частотного сдвига определяется скоростью изменения во времени угла Θ. Выражение (8.14) определяет закон изменения угла Θ во времени. Продифференцируем (8.14), сначала упростив его. Положим $M_п = U_п / U_с \ll 1$, тогда

$$\Theta(t) \approx \operatorname{arctg}(M_п \sin \Omega_п t) \approx M_п \sin \Omega_п t \qquad (8.18)$$

и производная

$$\Delta \omega_п t = d\Theta / dt = M_п \Omega_п \cos \Omega_п t = \omega_д \cos \Omega_п t, \qquad (8.19)$$

где $\omega_д = M_п \Omega$ — девиация частоты; $\Delta\omega_п(t)$ — изменение частоты во времени.

Из полученного выражения ясно, что наложение синусоидальной помехи вызывает ЧМ, изменяющуюся по гармоническому закону. Частота этой модуляции равна $\Omega_п = \omega_п - \omega_с$, а девиация

$$\omega_д = M_п \Omega_п = \frac{u_п}{u_с} \Omega_п. \qquad (8.20)$$

Амплитуда напряжения помехи на выходе частотного детектора пропорциональна найденному значению $\omega_д$, следовательно, при неизменном отношении $U_п / U_с$ на входе приемника амплитуда напряжения помехи на выходе частотного детектора пропорциональна абсолютному значению расстройки $|\Omega_п| = |\omega_п \omega_с|$. Следует напомнить, что данный результат получен при условии, когда амплитуда помехи мала по сравнению с амплитудой несущей. В общем случае закон изменения частоты будет более сложным.

На рис. 8.5 представлены зависимости напряжения помехи на выходе приемников АМ и ЧМ от расстройки $\Omega_п$. Как видно из рисунка, значение помехи на выходе АМ приемника постоянно и не зависит от расстройки частоты помехи относительно несущей частоты. На выходе ЧМ приемника величина помехи оказывается зависящей от расстройки, при $\omega_п = \omega_с$, когда $\Omega_п = 0$, помеха на выходе отсутствует. Это следует и из рис. 8.4. Действительно, положим $\omega_п = \omega_с$, тогда векторы aO' и OO' вращаются с одинаковой скоростью и результирующий вектор Oa неподвижен относительно OO', т. е. угол Θ не меняется во времени.

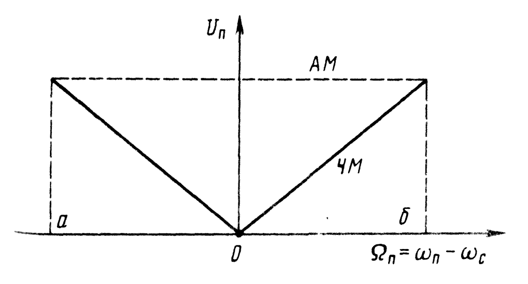


Рис. 8.5. Влияние помехи на системы с АМ и ЧМ при различных частотных расстройках

В этом случае производная $d\Theta/dt=0$ и помеха на выходе отсутствует. По мере увеличения расстройки скорость колебания вектора Oa увеличивается и возрастает влияние помехи. Согласно (8.20) зависимость помехи от расстройки $\Omega_п$ линейна.

Приведенные на рис. 8.5 графики соответствуют идеализированному случаю, когда АЧХ приемника равномерна в полосе пропускания (точка *а* и *б* на рис. 8,5), а за пределами полосы сигналы не принимаются.

Рассмотренный случай воздействия гармонической помехи позволяет по аналогии оценить воздействие шума на ЧМ приемник. Спектральные составляющие шумовой помехи, частота которых близка к частоте несущей, вызывают малую помеху на выходе частотного детектора; спектральные составляющие, приходящиеся на границы полосы пропускания, оказывают наибольшее мешающее действие. Если измерить спектральное распределение энергии флуктуационных помех на выходе детектора, то оно при графическом изображении будет иметь вид треугольника. Треугольное распределение энергии помехи в спектре сигналов цветности системы SECAM позволяет следующим образом повысить помехоустойчивость. Цветоразностные сигналы на передающем конце подвергаются предварительной частотной коррекции — предыскажениям. Корректирующая цепь обеспечивает подъем высокочастотных компонент цветоразностных сигналов. Частотная характеристика корректирующего фильтра, применяемого в системе SECAM, описывается следующим выражением:

$$A_{н.и}(f) = \frac{1 + jf/f_1}{1 + jf/af_1}, \qquad (8.21)$$

где $a=3; f_1=85$ кГц.

Графически частотная характеристика представлена на рис. 8.6. Поскольку предыскажениям подвергается немодулированный (низкочастотный) сигнал цветности, данный вид предыскажений называется низкочастотным.

Для неискаженного приема цветоразностных сигналов в телевизионном приемнике необходимо скорректировать внесенные частотные предыскажения. С этой целью в тракт усиления цветоразностных сигналов следует включить корректирующий фильтр с частотной характеристикой, имеющей спад в области верхних частот. Полная коррекция будет иметь место, если частотная характеристика $\dot{A}_{нч}(f)$ корректирующего звена в приемнике будет обратная частотной характеристике предыскажающего звена на передающем конце, т. е.

$$\dot{A}_{н.ч}(f) = 1/\dot{A}_{н\,ч}(f). \qquad (8.22)$$

Частотная характеристика корректирующего звена представлена на рис. 8.7.

Как видно из рисунка, частотная характеристика корректирующего звена имеет спад, увеличивающийся по мере повышения частоты. Шумовые помехи, поступающие в приемник вместе с полезным сигналом, после прохождения фильтра окажутся значительно ослабленными. Механизм ослабления шума на высоких частотах можно легко представить, если напряжения составляющих шума умно-

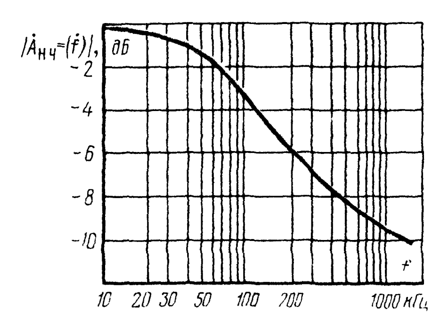


Рис 8.6 Частотная характеристика цепи НЧ предыскажений сигналов цветности

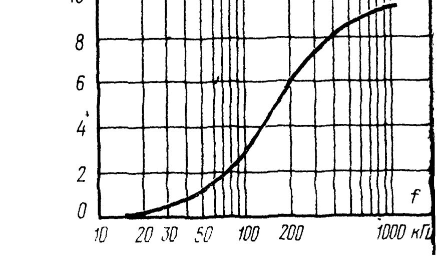


Рис. 8.7. Частотная характеристика цепи коррекции НЧ предыскажений

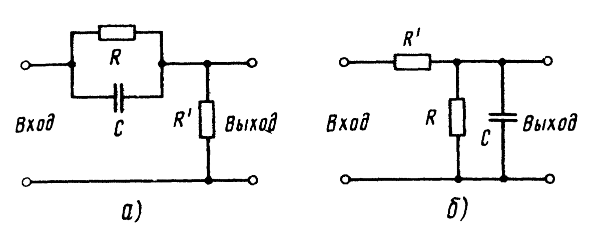


Рис. 8.8. Принципиальные схемы корректирующих цепей:
а — схема цепи НЧ предыскажений; *б* — схема цепи коррекции НЧ предыскажений

жить на коэффициент передачи фильтра. Примечательно, что высокочастотные составляющие спектра помехи, имеющие большую интенсивность (рис. 8.5), соответственно ослабляются в большее число раз. Общий выигрыш в отношении сигнал/помеха за счет низкочастотных предыскажений составляет приблизительно 9 дБ. Напомним, что ослабление спектральных составляющих цветоразностных сигналов, которые в приемнике также подвергаются коррекции, не ухудшает качество изображения, так как их амплитуда была соответственно увеличена на передающем конце.

Техническая реализация цепей, осуществляющих описанные преобразования, оказывается достаточно простой. На рис. 8.8 представлены принципиальные схемы цепей, осуществляющих соответственно частотные предыскажения и их коррекцию. В схеме на рис. 8.8*а* на низких частотах влияние конденсатора C не сказывается, и схему можно представить в виде делителя на резисторах R и R'. На частотах, превышающих 20 кГц, начинает сказываться шунтирующее действие конденсатора. Эквивалентное сопротивление горизонтального плеча делителя уменьшается с ростом частоты, за счет чего обеспечивается постепенный подъем частотной характеристики.

В схеме на рис. 8.8*б* конденсатор C включен в выходную цепь, что обеспечивает уменьшение эквивалентного сопротивления вертикального плеча с ростом частоты и соответствующее уменьшение коэффициента передачи.

Другой вид предыскажений, применяемый в системе SECAM, — это высокочастотные предыскажения, которым подвергается ЧМ сигнал цветности. Цель этих предыскажений так же, как и предыскажений видеосигналов — увеличение помехозащищенности каналов яркости и цветности приемника. Действие предыскажений, которым подвергается модулированный сигнал, проявляется в увеличении амплитуды поднесущей частоты при отклонении ее от номинального значения. Предыскажения осуществляются с помощью электрической цепи, коэффициент передачи которой определяется по формуле

$$\dot{A}_{\text{в.ч}}(f) = (1 + j16\,F)/(1 + j1{,}26\,F), \tag{8.23}$$

где $F = f/f_0 - f_0/f$, а $f_0 = 4286$ кГц.

Графически зависимость коэффициента передачи цепи высокочастотных предыскажений представлена на рис. 8.9. Как видно из рисунка при отклонении частоты от номинального значения коэффициент передачи возрастает, что позволяет повысить уровень спектральных компонент сигнала, удаленных от несущей и в большей степени подверженных влиянию помех.

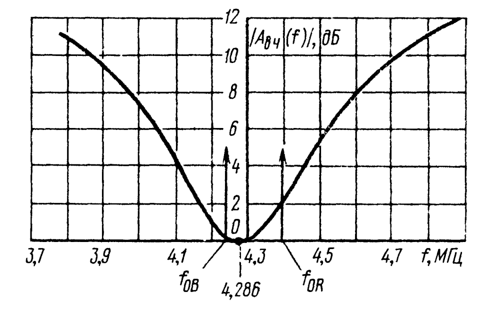


Рис. 8.9. Частотная характеристика цепи ВЧ предыскажений

В приемнике необходимо иметь цепь коррекции высокочастотных предыскажений с частотной характеристикой обратной функции A, вч (f) (8.23). Графически частотная характеристика корректирующей цепи представлена на рис. 8.10.

Коррекция высокочастотных предыскажений в приемнике долж-

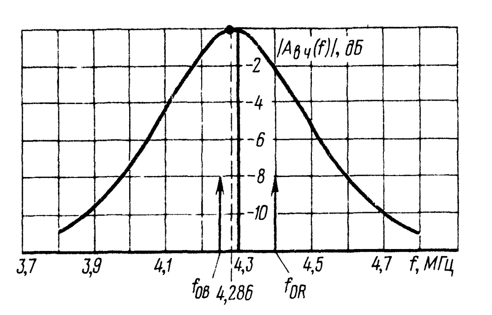


Рис. 8.10. Частотная характеристика цепи коррекции ВЧ предыскажений

на производиться достаточно точно. С этой целью высокие требования по точности настройки предъявляются к цепи высокочастотных предыскажений. По ГОСТ 19432—74 отклонения частотной характеристики от представленной на рис. 8.9 не должны превышать ±0,5 дБ. Минимум кривой должен совпадать с частотой 4,286 МГц при допустимой погрешности ± 20 кГц.

Принципиальные схемы устройств, обеспечивающих получение частотных характеристик, представленных на рис. 8.9 и 8.10, изображены на рис. 8.11. Цепь, вводящая частотные предыскажения, состоит из двух контуров, причем контур, состоящий из элементов $L_1C_1R_1$, является параллельным, а контур $L_2C_2R_2$ — последовательным. Для получения точной коррекции внесенных предыскажений корректирующая цепь в приемнике также должна состоять из двух контуров, причем последовательный и параллельный контуры следует поменять местами. На практике часто пользуются упрощенной корректирующей цепью, состоящей из одного параллельного контура (рис. 8.11*б*).

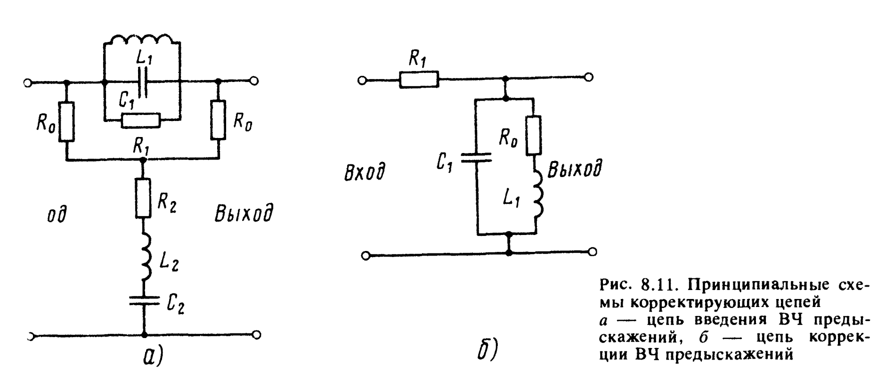


Рис. 8.11. Принципиальные схемы корректирующих цепей
а — цепь введения ВЧ предыскажений, *б* — цепь коррекции ВЧ предыскажений

Основные параметры системы SECAM

В процессе доработки системы SECAM неоднократно менялись ее параметры. При рассмотрении упрощенных структурных схем передающей и приемной частей считалось, что передаются цветоразностные сигналы E_{R-Y} и E_{B-Y}. В системе, принятой в СССР и стандартизированной, цветоразностные сигналы видоизменены. Новые сигналы цветности формируются из сигналов E'_{R-Y} и E'_{B-Y} следующим образом:

$$Д'_R = k_R E'_{R-Y} = -1{,}9\, E'_{R-Y}, \tag{8.24}$$

$$Д'_B = k_B E'_{B-Y} = 1{,}5\, E'_{B-Y}. \tag{8.25}$$

Из соотношений (8.24) и (8.25) видно, что сигналы $Д'_R$ и $Д'_B$ отличаются от E'_{R-Y} и E'_{B-Y} полярностью, а также наличием коэффициентов компрессии 1,9 и 1,5. С помощью указанных коэффициентов устанавливаются несколько иные значения напряжений передаваемых цветоразностных сигналов. Штрих в формулах означает, что передаваемые сигналы цветности подвергнуты гамма-коррекции.

Введение коэффициентов $k_R = -1,9$ и $k_B = 1,5$ направлено на улучшение совместимости и повышение помехоустойчивости системы. Дело в том, что максимальные и минимальные значения цветоразностных сигналов E'_{R-Y} и E'_{B-Y} различны. На рис. 8.12 представлены осциллограммы сигналов E'_{R-Y} и E'_{B-Y} при передаче изображения в виде вертикальных цветных полос в следующей последовательности: белая, желтая, голубая, зеленая, пурпурная, красная, синяя, черная. Из приведенных графиков видно, что значения сигнала E'_{R-Y} изменяются от $-0,67$ до $+0,67$, а сигналы E'_{B-Y} от $-0,89$ до $+0,89$.

Если сигналы E'_{R-Y} и E'_{B-Y} подать на частотный модулятор, то девиация частоты при передаче E'_{B-Y} будет больше, чем при передаче E'_{R-Y}. Общая полоса частот, занимаемая модулированным сигналом цветности, будет определяться сигналом E_{B-Y}. Сигнал E_{R-Y}, имеющий меньшие экстремальные значения, займет соответственно меньшую полосу частот, что ухудшит помехоустойчивость канала $R-Y$. Введение коэффициентов k_R и k_B позволяет исправить это положение и передавать цветоразностные сигналы в равных условиях. Действительно, с учетом коэффициентов k_R и k_B экстремальные значения обоих сигналов становятся одинаковыми $Д'_R/Д'_B = 1,9E'_{R-Y}/1,5E'_{B-Y} = (1,9\cdot 0,7)/(1,5\cdot 0,89) = 1$.

Значения сигналов $Д'_R$ и $Д'_B$ при передаче изображения цветных полос указаны на рис. 8.12*в* и *г*.

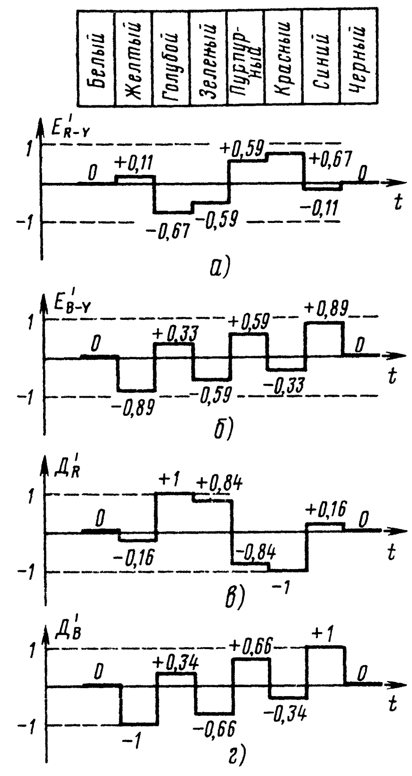


Рис. 8.12. Характерные уровни цветоразностных сигналов при передаче испытательного изображения в виде чередующихся вертикальных цветных полос

Введение знака минус перед коэффициентом k_R означает изменение полярности сигнала E_{R-Y} на противоположную. Отрицательная полярность сигнала E_{R-Y} выбрана из следующих соображений. Изучение цветовых сигналов при передаче различных сюжетов показало, что в сигнале E'_{R-Y} преобладают положительные значения, а в E'_{B-Y} — отрицательные. Изменением полярности E'_{R-Y} добиваются того, что при передаче обоих сигналов $Д'_R$ и $Д'_R$ для большинства сюжетов преобладает отрицательная девиация частоты, т. е. уменьшение частоты поднесущей при передаче большинства сюжетов позволяет уменьшить заметность искажений цветного изображения, часто возникающих в тракте передачи при ограничении верхней боковой полосы сигнала цветности. При сложении $Д'_R$ и $Д'_B$ с сигналом E_Y размах цветовой поднесущей выбирается равным приблизительно 25% от размаха сигнала яркости от черного до белого, что обеспечивает малую заметность помехи на экране черно-белого приемника.

В ранних вариантах SECAM цветоразностные сигналы по очереди модулировали общую поднесущую частоту. В стандартизированном варианте принято передавать сигналы $Д'_R$ и $Д'_B$ с помощью двух различных поднесущих частот. Выбранные поднесущие частоты являются гармониками строчной частоты $f_{oR} = 282f_{стр} = 4406,25 \pm 2$ кГц, $f_{oB} = 272f_{стр} = 4250,00 \pm 2$ кГц, где $f_{стр} = 15625$ Гц — $= 15625$ Гц — частота строк.

Целесообразность применения двух поднесущих частот объясняется следующим образом. При введении высокочастотных предыскажений амплитуда модулированного сигнала цветности изменяется, так как цепь, с помощью которой вводятся частотные предыскажения, имеет неравномерную частотную характерис-

тику. При ЧМ величина частотного отклонения пропорциональна модулирующему сигналу. С другой стороны, каждому уровню модулирующего сигнала $Д'_R$ и $Д'_B$ (см. рис. 8.12*в* и *г*) соответствует определенный цвет передаваемого изображения. Поэтому оказывается, что информация о цвете передаваемого изображения заложена в частоте поднесущей. Иными словами, каждому цветовому оттенку соответствует своя частота модулированной поднесущей. Следует отметить, что частоты, характерные для определенных цветовых оттенков при передаче сигналов $Д'_R$ и $Д'_B$, не совпадают. Действительно, если обратиться к рис. 8.12*в* и *г*, то легко определить, что одним и тем же цветам, соответствуют разные уровни $Д'_R$ и $Д'_B$. Так, зеленый цвет передается в сигнале $Д'_R$ уровнем $+0{,}84$, а в сигнале $Д'_B$ уровнем $-0{,}66$. После модуляции окажется, что зеленому цвету при передаче $Д'_R$ соответствует частота, превышающая номинальную частоту поднесущей (девиация положительна), при передаче $Д'_B$ (девиация отрицательна) частота колебаний будет ниже номинальной. Поскольку применены высокочастотные предыскажения, каждому значению частоты будет соответствовать (согласно рис. 8.9) свое значение амплитуды. Улучшение отношения сигнал/шум в приемнике тем больше, чем больше девиация частоты. Таким образом, выигрыш, получаемый от применения высокочастотных предыскажений, зависит от цветового оттенка передаваемой детали изображения.

Известно, что флуктуационные помехи оказывают различное воздействие при восприятии участков изображения, имеющих разную яркость и цвет. Эксперименты показали, что флуктуационные помехи наиболее заметны на деталях изображения, имеющих среднюю яркость. При увеличении яркости до максимальной заметность помех уменьшается. Аналогичная картина наблюдается при уменьшении яркости, на темных и черных деталях изображения. Цветные детали изображения характеризуются цветовым тоном, насыщенностью и яркостью. Те цветовые детали, которые имеют высокую яркость, менее подвержены влиянию флуктуационных помех. К таким цветам относится, например, желтый. Аналогично синий цвет мало подвержен действию флуктуационных помех. Однако малая заметность помех на синем объясняется тем, что он имеет относительно малую яркость и приближается к черному цвету.

Цвета, характеризуемые средней относительной яркостью, наиболее подвержены влиянию флуктуационных помех. К ним следует отнести голубой, зеленый, красный и пурпурный цвета.

При введении высокочастотных предыскажений прежде всего необходимо позаботиться об оптимальных условиях для приема тех цветов, на которых наиболее заметны флуктуационные помехи. Теоретические расчеты и эксперименты показали, что можно добиться заметного уменьшения помех на экране цветного телевизора, если сместить поднесущую частоту относительно минимума кривой высокочастотных предыскажений. Оптимальные значения смещения частоты оказались разными для случаев передачи сигналов $Д'_R$ и $Д'_B$. Поднесующую f_{oR} оказалось целесообразным сместить от частоты настройки (4,286 МГц) в сторону увеличения на 120 кГц, а поднесущую f_{oB} — в сторону уменьшения на 36 кГц.

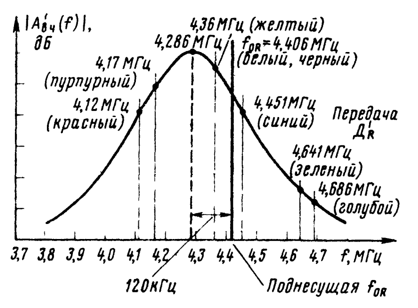


Рис. 8.13. Расположение поднесущей относительно характеристики цепи коррекции ВЧ предыскажений для характерных цветов при передаче сигнала $Д'_R$

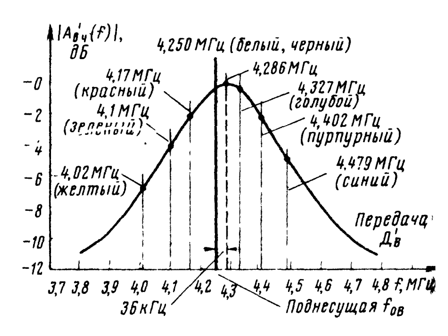


Рис. 8.14. Расположение поднесущей относительно частотной характеристики цепи коррекции ВЧ предыскажений для характерных цветов при передаче сигнала $Д'_B$

Точные значения поднесущих частот были получены из условий кратности частоте строчной развертки. Положения поднесущих f_{0R} f_{0B} относительно кривой высокочастотных предыскажений и контура коррекции показаны на рис. 8.9 и 8.10. На рис. 8.13 и 8.14 показаны значения частот поднесущих f_{0R} и f_{0B} при передаче изображений цветных полос и их положение относительно частотной характеристики корректирующего контура.

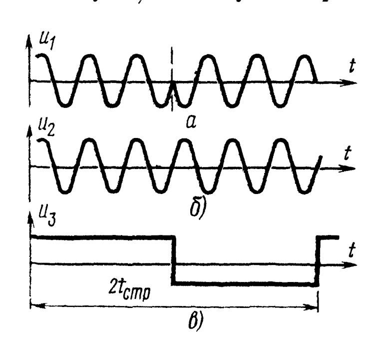
Особенности уплотнения спектра сигнала яркости в системе SECAM

В гл. 3 был рассмотрен метод уплотнения сигнала яркости сигналами цветности, основанный на применении поднесущей, частота которой является нечетной полугармоникой кадровой частоты. При нечетном числе строк в полном кадре (в стандартных системах число строк разложения нечетное: 625; 525; 819) поднесущая является одновременно и нечетной гармоникой полустрочной частоты. В системе NTSC такой выбор частоты поднесущей обеспечивает необходимое перемежение спектров сигналов яркости и цветности и автоматическую компенсацию помехи на экране кинескопа.

В системе SECAM данный метод устранения помехи непригоден. Дело в том, что в системе SECAM цветоразностные сигналы чередуются от строки к строке. Поскольку кадр содержит нечетное число строк, то каждый кадр начинается и заканчивается передачей одного и того же цветового сигнала. Например, если в течение первой строки кадра передается сигнал $Д'_R$, то в течение второй — $Д'_B$ и т. д. Последняя (нечетная) строка так же, как и первая, будет содержать сигнал $Д'_R$. Зато в следующем кадре в течение первой строки будет передаваться сигнал $Д'_B$. Нетрудно заметить, что строки, содержащие сигналы $Д'_R$ и $Д'_B$ в двух смежных кадрах, разные. Поэтому компенсация помехи (возможная только в том случае, когда она создается одним и тем же сигналом) в данном случае будет отсутствовать. Действительно, при выборе поднесущей частоты, равной нечетной полугармонике $f_{стр}/2$, фаза поднесущей, накладывающейся на изображение, создаваемое яркостным сигналом, меняется от кадра к кадру на 180°. В системе SECAM в двух смежных кадрах в любой выбранной точке экрана помеха создается двумя различными ЧМ сигналами. Так как модуляция частотная, возможен дополнительный сдвиг по фазе между сигналами, равный 180°. В этом случае вместо компенсации произойдет сложение сигналов.

Наличие ЧМ и последовательной передачи цветовых сигналов заставили разработчиков системы SECAM отказаться от применения метода частотного переплетения спектра, принятого в системе NTSC, и выбрать в качестве частот поднесущих 272 и 282 гармоники строчной частоты.

Можно получить компенсацию помехи и в случае, когда поднесущая является гармоникой строчной частоты. Принцип компенсации помехи при этом основан на принудительной коммутации фазы поднесущей от строки к строке. Положим, что поднесущая меняет свою фазу на 180° через каждые три периода, как это показано на рис. 8.15*а*. Такое периодическое изменение фазы называют фазовой манипуляцией. Получение фазоманипулированного сигнала можно представить



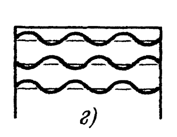


Рис. 8.15. Компенсация помехи, образуемой поднесущей на экране приемника методом коммутации фазы:
а — фазоманипулированное колебание; *б* — исходное синусоидальное колебание, *в* — модулирующий сигнал; *г* — образование помехи на телевизионном растре

как процесс перемещения двух сигналов синусоидальной (рис. 8.15*б*) и импульсной формы (рис. 8.15*в*). Если выбрать частоту синусоидального колебания равной $3f_{стр}$, то в одной строке уложится три периода, как показано на рис. 8.15*г*, причем в начале каждой последующей строки фаза колебания будет меняться на противоположную. Выбрав достаточно высокую частоту поднесущей и соответствующий порядок коммутации фазы, можно добиться существенного уменьшения помех на приемном экране.

Применение описанного приема часто вызывает неправильное представление о том, что компенсация поднесущей в данном случае получается без переплетения спектров сигналов яркости и цветности. В действительности это не так. Временны́е и спектральные характеристики сигналов однозначно связаны между собой. Поэтому если наблюдается компенсация помехи, то независимо от того, с помощью какого приема это достигнуто, можно утверждать, что имеет место и частотное переплетение спектров. В рассмотренном случае доказательство наличия переплетения спектров является сравнительно простым. Дело в том, что фазоманипулированное колебание нельзя рассматривать как синусоиду, образующую в спектре сигнала яркости всего одну линию. Спектр поднесущей в данном случае имеет более сложный состав, описываемый выражением [8],

$$u(t) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{4}{\pi} \frac{\beta}{n^2 - \beta^2} \cos n \frac{\Omega_{стр}}{2} t, \tag{8.26}$$

где n — номер гармоники (нечетной); $\Omega_{стр} = 2\pi f_{стр}$ — круговая частота строк; $\beta = 2f_0/f_{стр}$. (f_0 — частота поднесущей).

В приведенном выражении множитель перед косинусом определяет амплитуду n-й гармоники спектра. Характерно, что число n, входящее в состав данной формулы, может быть только нечетным. В этом случае все гармоники являются нечетными гармониками полустрочной частоты, так как в аргумент косинуса входит $n\Omega_{стр}/2$. Из выражения (8.26) следует, что сама поднесущая частота в спектре фазоманипулированного сигнала отсутствует, поскольку она является целой гармоникой строчной частоты и, следовательно, четной гармоникой полустрочной частоты.

Отсутствие спектральной линии с частотой, равной поднесущей, имеет ясную физическую интерпретацию. Получение фазоманипулированных колебаний путем перемножения исходного сигнала (рис. 8.15*б*) с модулирующим (рис. 8.15*в*) можно рассматривать как балансную модуляцию, при которой, как известно, несущая частота оказывается подавленной.

Очень просто объясняется и появление в спектре манипулированной по фазе поднесущей колебаний, кратных $\Omega_{стр}/2$. Как уже отмечалось, в системе SECAM фаза колебаний поднесущей изменяется от строки к строке. Полный цикл изменений модулирующего колебания осуществляется за две строки. Таким образом, период модулирующего колебания (рис. 8.15*в*) в два раза больше периода строчной развертки и, следовательно, основная частота модулирующего колебания будет $\Omega_{стр}/2$.

Наличие в спектре поднесущей только нечетных гармоник полустрочной частоты свидетельствует о наличии переплетения спектров поднесущей и сигнала яркости.

Приведенные рассуждения касались случая передачи в спектре сигнала яркости одной поднесущей. Применение двух поднесущих, модулированных по частоте сигналами цветности, конечно, значительно изменяет процесс компенсации помехи. Компенсация получается не такой полной, что приводит к увеличению заметности этой помехи на экране.

Улучшение совместимости в системе SECAM достигается применением более сложного порядка коммутации фазы поднесущей. Стандарт на систему цветного телевизионного вещания (ГОСТ 19432 — 74) предусматривает два варианта последовательности изменения фазы поднесущей. В первом варианте фаза поднесущей должна изменяться на 180° от поля к полю, а также в начале каждой третьей строки, как это показано в табл. 8.1. Во втором варианте (табл. 8.2) фаза поднесущей изменяется на 180° от поля к полю, а также в каждых трех последующих строках.

Таблица 8.1

Номер строки	Номер поля												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
n	0		0		180		0		0		180		0
$n+313$		180		0		180		180		0		180	
$n+1$	0		180		0		0		180		0		0
$n+314$		0		180		180		0		180		180	
$n+2$	180		0		0		180		0		0		180
$n+315$		180		180		0		180		180		0	
$n+3$	0		0		180		0		0		180		0
$n+316$		180		0		180		180		0		180	
$n+4$	0		180		0		0		180		0		0
$n+317$		0		180		180		0		180		180	
$n+5$	180		0		0		180		0		0		180
$n+318$		180		180		0		180		180		0	
$n+6$	0		0		180		0		0		180		0

Таблица 8.2

Номер строки	Номер поля												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
n	0		0		0		180		180		180		0
$n+313$		180		180		0		0		0		180	0
$n+1$	0		0		180		180		180		0		0
$n+314$		180		0		0		0		180		180	
$n+2$	0		180		180		180		0		0		0
$n+315$		0		0		0		180		180		180	
$n+3$	180		180		180		0		0		0		180
$n+316$		0		0		180		180		180		0	

Номер строки	Номер поля												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$n+4$	180		180		0		0		0		180		180
$n+317$		0		180		180		180		0		0	
$n+5$	180		0		0		0		180		180		180
$n+318$		180		180		180		0		0		0	
$n+6$	0		0		0		180		180		180		0

Приведенная в табл. 8.1 и 8.2 последовательность коммутации фазы делает помеху от поднесущей на экране телевизионного приемника более хаотичной, чем в случае построчной коммутации, и поэтому менее заметной. Оба варианта равноценны по практическим результатам.

Кодирующее устройство системы SECAM

Кодирующее устройство предназначено для формирования из видеосигналов, поступающих с камеры, полного цветового сигнала, соответствующего ГОСТ 19432 — 74. На вход кодирующего устройства исходные сигналы поступают с камерного канала, в котором они прошли первичную обработку: усиление, коррекцию частотных искажений, гамма-коррекцию.

Полный цветовой телевизионный сигнал на выходе кодирующего устройства включает: сигналы яркости, цветности, цветовой синхронизации, синхронизации развертывающих устройств приемника, гасящие импульсы. Процесс формирования полного цветового сигнала удобно рассмотреть с помощью упрощенной структурной схемы кодирующего устройства, приведенной на рис. 8.16. Три видеосигнала E'_R, E'_G, E'_B с выхода камерного канала поступают на матричную схему, с помощью которой формируется сигнал яркости E'_Y и два цветоразностных сигнала $Д'_R$ и $Д'_B$. Цветоразностные сигналы $Д'_R$ и $Д'_B$ подвергаются перед модуляцией низкочастотным предыскажениям в устройствах, включенных между матрицей и электронным коммутатором *ЭК*, обеспечивающим переключение сигналов $Д'_R$ и $Д'_B$ от строки к строке. Ограничение спектра частот, чередующихся от строки к строке сигналов $Д'_R$ и $Д'_B$, осуществляется с помощью фильтра нижних частот. Следующим важным узлом кодирующего устройства является амплитудный ограничитель. Ограничение цветовых сигналов по амплитуде вводится по следующей причине. Низкочастотные предыскажения цветоразностных сигналов преобразуют их форму. Резкие перепады сигнала, соответствующие переходу от одного цвета к другому, после прохождения цепи низкочастотных предыскажений приобретают выбросы. Однако сигналы, поступающие в частотный модулятор, должны укладываться во вполне определенном диапазоне уровней. Согласно ГОСТ 19432 — 74, максимальная девиация частоты поднесущей не должна превышать +350 и −506 кГц при передаче строк с сигналом $Д'_R$ и +506 и −350 кГц при передаче сигнала $Д'_B$. Наиболее простым техническим решением является соответствующий подбор напряжений модулирующих сигналов на входе частотного модулятора, чтобы указанные значения девиации частоты соответствовали пиковым значениям сигналов $Д'_R$ и $Д'_B$. Однако при этом пришлось бы довольно сильно уменьшить исходный сигнал, что привело бы к снижению помехоустойчивости. Поэтому в кодирующем устройстве системы SECAM применяется ограничитель, с помощью которого выбросы цветовых сигналов ограничиваются по максимуму и минимуму на уровнях, при которых девиация частоты соответствует номинальным значениям. Процесс ограничения сигналов $Д'_R$ и $Д'_B$ поясняется рис. 8.17. Здесь изображены сигналы $Д'_R$ (рис. 8.17*б*) и $Д'_B$ (рис. 8.17*в*), соответствующие передаче вертикальных цветн

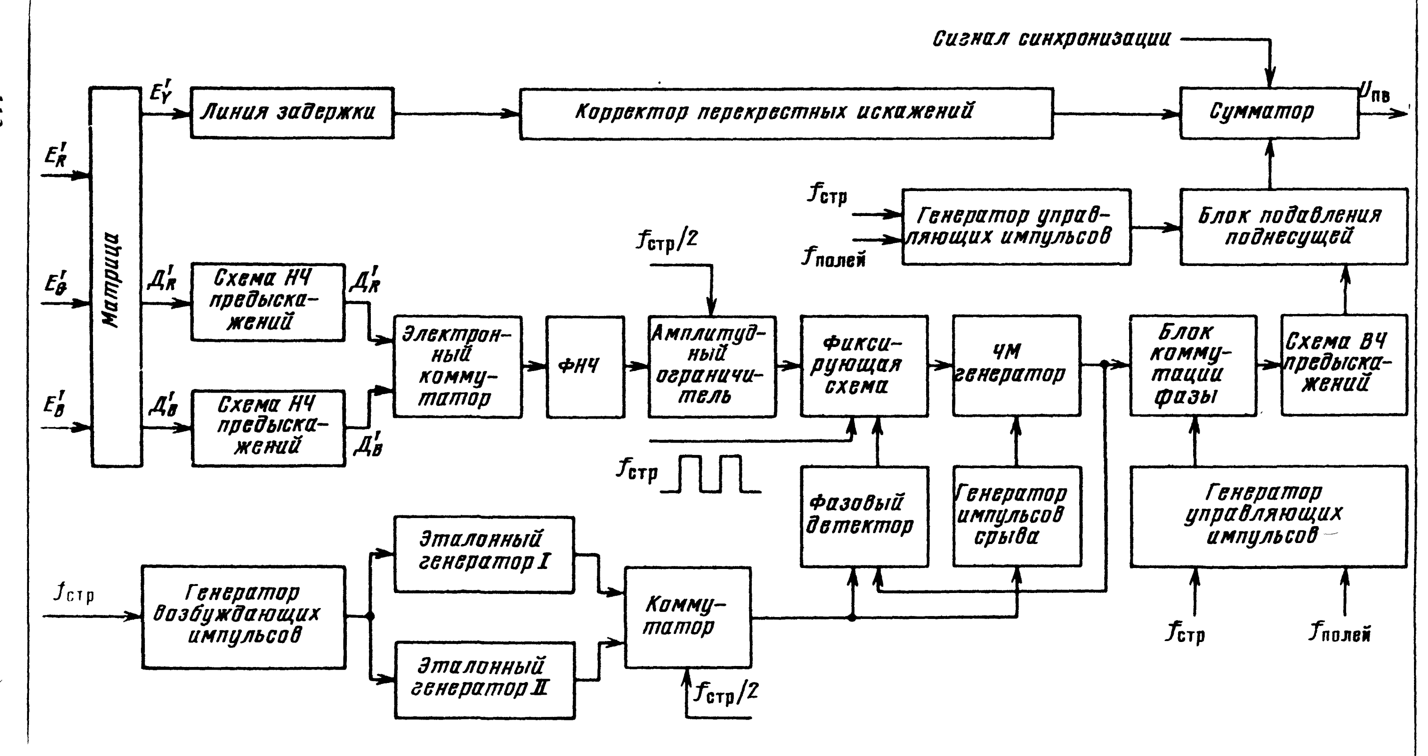


Рис. 8.16. Структурная схема кодирующего устройства SECAM

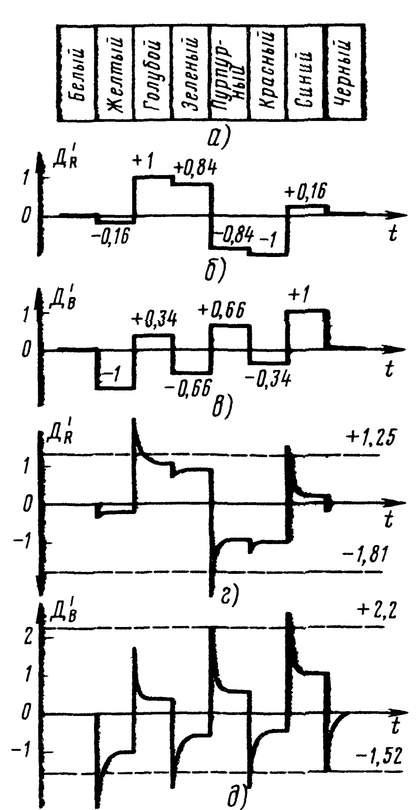


Рис 8 17 Ограничение сигналов цветности в кодирующем устройстве

полос. После прохождения цепи НЧ предыскажений сигналы принимают вид, показанный на рис. 8.17*г* и *д*. Уровни ограничения сигналов показаны на рис. 8.17*г* и *д* штриховыми линиями. Как видно из рис. 8.17, уровни ограничения для сигналов $Д'_R$ и $Д'_B$ должны быть разными. Однако в кодирующем устройстве используется один ограничитель. Для того чтобы ограничение происходило на разных уровнях, на ограничитель подается сигнал прямоугольной формы с частотой повторения, равной половине строчной частоты, который смещает сигналы относительно постоянных уровней ограничения на нужную величину.

С выхода ограничителя сигналы поступают на частотный модулятор, на входе которого включена фиксирующая схема. В модуляторе цветовая поднесущая $f_{0R} = 4406{,}25 \pm 2$ кГц модулируется сигналом $Д'_R$, а цветовая поднесущая $f_{0B} = 4250 \pm 2$ кГц модулируется сигналом $Д'_B$. Частотный модулятор является одним из наиболее сложных узлов кодирующего устройства системы SECAM. Основная трудность в построении частотного модулятора заключается в том, что необходимо осуществлять модуляцию двух поднесущих, номинальные частоты которых должны быть весьма стабильными и кратными частоте строчной развертки. Обычно в качестве модулятора используется генератор с самовозбуждением, обеспечивающий достаточно высокую стабильность начальной частоты и линейность модуляционной характеристики. Таким условиям удовлетворяют некоторые виды мультивибраторов. Номинальные значения частот поднесущих при передаче сигналов $Д'_R$ и $Д'_B$ устанавливаются в частотном модуляторе с помощью фиксирующей схемы. Фиксирующая схема устанавливает в интервалы строчных гасящих импульсов на входе частотного модулятора напряжение, обеспечивающее генерирование колебаний частоты $f_{0R} = 4406{,}25 \pm 2$ кГц, если в течение строки будет передаваться сигнал $Д'_R$, и частоты $f_{0B} = 4250{,}00 \pm 2$ кГц, если будет передаваться сигнал $Л'_B$. Таким образом осуществляется «подготовка» частотного модулятора. Управление фиксирующей схемой осуществляется с помощью строчных синхронизирующих импульсов. Однако мультивибратор, работающий в режиме автогенератора, не может обеспечить необходимую стабильность начальных частот, кроме того, не выдерживается кратность частот поднесущих и частоты строчной развертки. По этой причине в схему кодирующего устройства введены два эталонных генератора и схема автоподстройки частоты. Эталонные генераторы *I* и *II* управляются импульсами, поступающими с генератора возбуждающих импульсов. Генератор возбуждающих импульсов синхронизируется импульсами строчной частоты. Эталонные генераторы обеспечивают формирование поднесущих частот, являющихся 282 и 272 гармониками строчной частоты. С выхода генераторов колебания поступают на коммутатор. В коммутаторе осуществляется поочередное переключение колебаний, так что на фазовый детектор в течение одной строки поступают колебания поднесущей f_{0R}, а в течение другой — f_{0B}. В фазовом детекторе осуществляется сравнение фаз колебаний частотного модулятора и эталонных генераторов. Вырабатываемый фазовым детектором сигнал ошибки управляет фиксирующей схемой, изменяя ее опорное напряжение. Фиксирующая схема управляет-

ся цепью автоподстройки только в течение интервала обратного хода строчной развертки. Дальнейшее поддержание точного значения поднесущей частоты достигается за счет поддержания заданного опорного напряжения фиксирующей схемой. Поэтому стабильность работы всего узла модулятора в значительной степени зависит от качества работы фиксирующей схемы.

В конце каждой строки на частотный модулятор подаются специальные импульсы от генератора импульсов срыва. С помощью этих импульсов колебания ЧМ генератора на короткое время срываются. Срыв колебаний необходим для правильной работы схемы фазовой автоподстройки. Известно, что фазовый детектор вырабатывает сигнал ошибки, равный нулю, как при сдвиге фаз, равном нулю, так и при сдвиге 180°. Генератор импульсов срыва управляется колебаниями эталонных частот так, что момент открывания ЧМ генератора и возобновления его колебаний оказывается сфазированным с колебаниями эталонных генераторов. Таким образом устраняется неопределенность в работе петли автоподстройки.

С выхода частотного модулятора сигнал поступает на блок коммутации фазы, который изменяет на 180° фазу колебаний поднесущих частот в последовательности, указанной в табл. 8.1 и 8.2, для уменьшения заметности помех на экране телевизионного приемника.

Следующим узлом кодирующего устройства, через которое проходит сигнал цветности является схема ВЧ предыскажений, о назначении которой говорилось ранее. С выхода этой схемы сигнал через устройство подавления поднесущей поступает на суммирующее устройство. В блоке подавления поднесущей канал цветности закрывается в интервалы, предназначенные для передачи сигнала синхронизации приемника. Это необходимо для того, чтобы колебания поднесущих частот не наложились на импульсы синхронизации.

В суммирующем устройстве складываются сигналы цветности с сигналом яркости и импульсами синхронизации.

В канал яркости кодирующего устройства входят линии задержки и корректор перекрестных искажений. С помощью линии задержки осуществляется совмещение во времени сигналов яркости и цветности, которые поступают на сумматор.

Корректор перекрестных искажений предназначен для уменьшения помех в приемнике, возникающих из-за биений между сигналами цветности и составляющими сигнала яркости, передаваемыми в общей полосе частот. Простейший способ уменьшения этих помех заключается в удалении с помощью режекторного контура спектральных составляющих сигнала яркости, передаваемых в полосе частот, совпадающей с полосой частот, отведенной для передачи сигналов цветности. Однако это приводит к потере четкости изображения, поскольку мелкие детали изображения передаются в цветном телевидении с помощью сигнала яркости. Поэтому в кодирующих устройствах системы SECAM нашли применение более сложные корректоры.

Структурная схема корректора перекрестных искажений представлена на рис. 8.18. Корректор состоит из двух каналов. Канал *А* содержит селективную цепь, обеспечивающую пропускание спектральных компонент сигнала, лежащих около частоты 4,286 МГц. Роль такой цепи может выполнять колебательный контур, имеющий соответствующую настройку частоты резонанса. Еще в состав канала *А* входит амплитудный ограничитель.

Канал *Б* содержит частотно-избирательную цепь, обеспечивающую режекцию спектральных компонент сигнала на частотах, близких к 4,286 МГц. Таким образом, частотные характеристики этих цепей в каналах *А* и *Б* как бы дополняют друг друга. Сигналы с выхода каналов *А* и *Б* смешиваются в сумматоре.

Принцип работы корректора сводится к следующему. Предположим, что передается изображение, спектр которого имеет сравни-

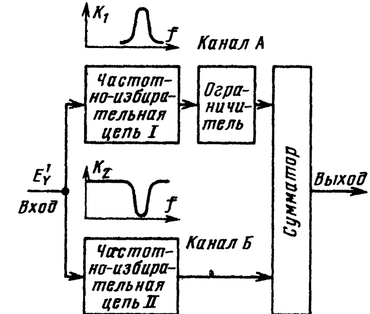


Рис. 8.18. Структурная схема корректора перекрестных искажений

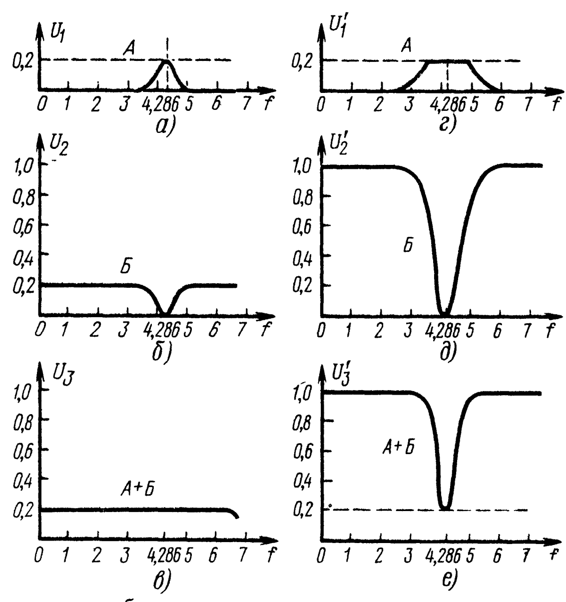


Рис. 8.19. Принцип действия корректора перекрестных искажений: *а, г* — спектры сигнала на выходе канала *А* при малом и большом уровнях сигнала на входе корректора; *б, д* — спектры сигнала на выходе канала *Б* при малом и большом уровнях сигнала на входе корректора; *в, е* — спектры сигналов на выходе корректора при малом и большом уровнях входных сигналов

тельно слабые компоненты в полосе передачи сигналов цветности, и напряжение сигнала, поступающее на ограничитель, не достигает порога ограничения. В этом случае оба канала корректора представляют собой линейные устройства со взаимно дополняющими частотными характеристиками. При подаче сигнала с равномерным спектром на вход устройства спектры сигналов на выходе каналов *А* и *Б* будут иметь вид, показанный на рис. 8.19*а* и *б*. Спектр сигнала на выходе сумматора определится суммой спектральных компонент. Как видно из рис. 8.19*в*, результирующий спектр равномерен в полосе частот до 6,5 МГц и, следовательно, общая частотная характеристика устройства также равномерна.

Предположим теперь, что напряжение сигнала, поступающее на ограничитель в канале *А*, превышает порог. В этом случае спектр сигнала на выходе канала *А* примет вид, показанный на рис. 8.19*г*. Характерно, что из-за нелинейных свойств этого канала уровень спектральных компонент остался прежним. Однако на выходе канала *Б* уровень сигнала возрастет пропорционально напряжению входного уровня, за исключением тех участков спектра, которые примыкают к частоте настройки режекторного контура — 4,286 МГц (рис. 8.19*д*). Спектр сигнала на выходе корректора окажется неравномерным (рис. 8.19*е*). Спектральные компоненты сигнала яркости, представляющие опасность с точки зрения образования перекрестных помех, подавлены по сравнению с остальными составляющими. Это свидетельствует о том, что эквивалентная частотная характеристика корректора имеет значительный спад на частоте режекции. Сравнение рис. 8.19*в,е* показывает, однако, что уровень спектральной компоненты, соответствующей частоте 4,286 МГц, в обоих случаях остался одинаковым. Таким образом, корректор перекрестных искажений имеет частотную характеристику, форма которой изменяется при изменении уровня входного сигнала. Характерно, что изменение захватывает только ту область частот, в которой передаются сигналы цветности, и только тогда, когда изменяется энергия спектральных компонент сигнала яркости в районе частоты 4,286 МГц. Действительно, положим, что при смене изображения возросли спектральные компоненты в области частот от 1 до 2 МГц. Это не вызовет изменений частотной характеристики, так как частотно-зависимая цепь в канале *А* не пропускает этих спектральных компонент и напряжение сигнала, поступающего на ограничитель, останется неизменным. Такая работа является правильной, поскольку спектральные компоненты с частотами от 1 до 2 МГц не попадают в частотный диапазон сигналов цветности и, следовательно, перекрестных помех не образуют. Таким образом, корректор перекрестных искажений вступает в действие лишь тогда, когда возникает опасность образования перекрестных помех.

Глава девятая. ПРИЕМНИКИ ЦВЕТНОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ

Функциональная схема цветного телевизора

Условие совместимости, которое выполняется в системе SECAM, позволяет использовать в цветном телевизоре ряд блоков, близких по принципиальной схеме и конструкции к аналогичным блокам черно-белых телевизоров. Упрощенная структурная схема цветного телевизора представлена на рис. 9.1. Сигналы, принятые антенной, поступают на селектор каналов *СК*. Выделенные и преобразованные по частоте сигналы изображения и звукового сопровождения затем поступают на усилитель промежуточной частоты изображения *УПЧИ*, входящий в состав блока радиоканала. Сигнал, поступающий с выхода УПЧИ, детектируется амплитудным детектором *АД*, усиливается видеоусилителем *ВУ* и подается на соединенные друг с другом катоды цветного кинескопа. Формирование цветоразностных сигналов E'_{R-Y}, E'_{B-Y} и E'_{G-Y} осуществляется в блоке цветности *БЦ*, на который исходный сигнал поступает с выхода *АД* блока радиоканала. Отклоняющие токи формируются в блоке разверток. Корректирующие токи, обеспечивающие сведение лучей кинескопа, формируются в блоке динамического сведения *БДС* и подаются на катушки сведения *КС* цветного кинескопа.

Внешне упрощенная структурная схема цветного телевизора сравнительно мало отличается от структурной схемы черно-белого телевизионного приемника. Принципиально новыми узлами в ней являются цветной кинескоп, блок цветности и блок динамического сведения.

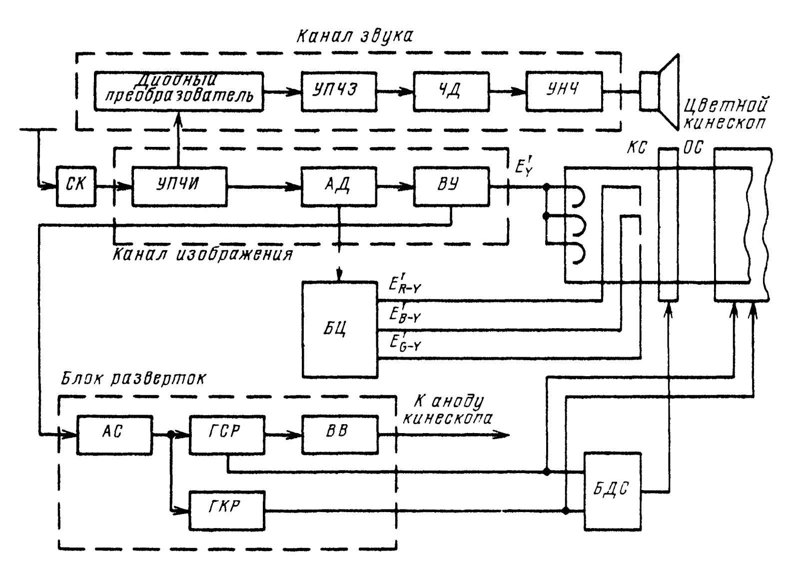


Рис. 9.1. Структурная схема приемника цветного телевидения по системе SECAM

Селектор каналов

Селектор каналов цветного телевизора по схеме и конструкции мало отличается от аналогичного блока черно-белого приемника. Он также предназначен для переключения элементов телевизора при настройке на прием определенной программы, усиления сигналов и преобразования их частоты. С выхода СК сигналы промежуточной частоты поступают на УПЧИ. В цветном телевизоре выполняется согласование СК с антенным фидером, более равномерна АЧХ и выше стабильность частоты гетеродина, чем у СК черно-белого телевизора.

В первых цветных телевизорах, выпускавшихся нашей промышленностью, применялись селекторы каналов типа ПТК-11ДС, являвшиеся по сути несколько модернизированными ПТК-10, применявшимися в черно-белых телевизорах. Этот высокочастотный блок вырабатывал промежуточные частоты 31,5 и 38,0 МГц, имел электронную настройку гетеродина. Несколько позднее был разработан транзисторный высокочастотный блок СКМ-15, который широко применяется в современных цветных телевизорах.

Усилитель промежуточной частоты сигнала изображения

Усилитель промежуточной частоты сигналов изображения осуществляет основное усиление принимаемого сигнала (обычно в 1800—2000 раз). Кроме того, УПЧИ обеспечивает требуемую селективность приемника по отношению к сигналам соседних каналов. Как известно, телевизионный центр передает сигналы изображения и звукового сопровождения на разных несущих частотах. Частота несущей передатчика звукового сопровождения на 6,5 МГц выше частоты несущей передатчика изображения. При преобразовании частоты в СК частота гетеродина выбирается более высокой, чем частота несущей передатчика звукового сопровождения (рис. 9.2*а*). Например, при приеме сигналов по третьему телевизионному каналу частота гетеродина устанавливается равной $f_г = 115{,}25$ МГц. Так как несущая частота сигналов изображения в данном канале $f_{н.из} = 77{,}25$ МГц, а несущая звукового сопровождения $f_{н.зв} = 83{,}75$ МГц, то промежуточные частоты на выходе СК оказываются равными $f_{п.ч.из} = 38{,}0$ МГц и $f_{п.ч.зв} = 31{,}5$ МГц. Таким образом, промежуточная частота сигналов звукового сопровождения оказывается ниже промежуточной частоты сигналов изображения, как это показано на рис. 9.2*б*.

Хотя обычно УПЧИ называют усилителем промежуточной частоты сигналов изображения, в действительности он усиливает и сигналы промежуточной частоты звукового сопровождения. Благодаря этому на видеодетекторе образуются колебания разностной частоты 6,5 МГц, которые подаются в тракт звукового сопровождения телевизора. Однако колебания с частотой 6,5 МГц могут образовать на экране телевизора помеху в виде мелкоструктурной сетки. Поэтому при построении УПЧИ принимаются меры к тому, чтобы сигналы звукового сопровождения усиливались значительно меньше, чем сигналы изображения. Идеализированная частотная характеристика УПЧИ изображена на рис. 9.3. Как видно из рисунка, коэффициент усиления усилителя на частотах, близких к $f_{пр.\ зд}$, значительно меньше коэффициента усиления в частотном диапазоне сигнала изображения. В приемниках черно-белого изображения напряжение промежуточной частоты несущей звукового сопровождения, подаваемое на видеодетектор, обычно составляет одну десятую

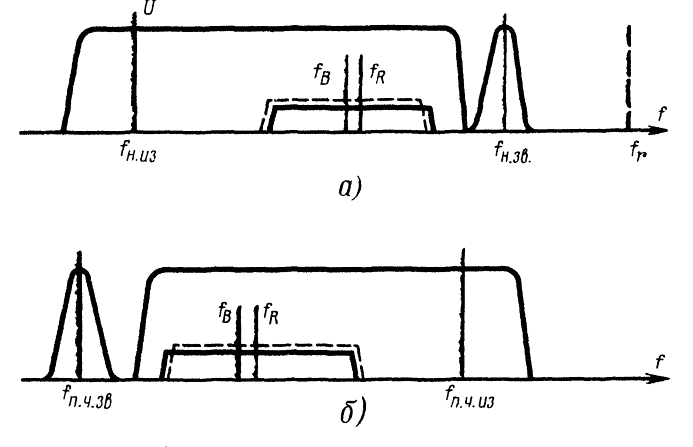


Рис. 9.2. Преобразования спектра сигнала в селекторе каналов:
а — спектр принимаемого сигнала; *б* — спектр сигнала на выходе преобразователя частоты

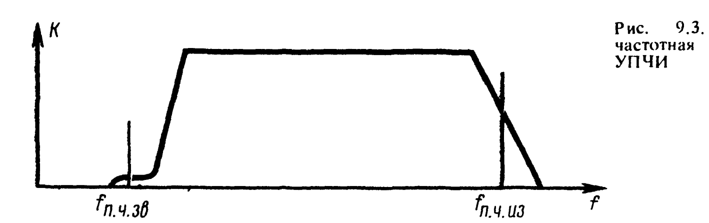


Рис. 9.3. Идеализированная частотная характеристика УПЧИ

(20 дБ) от напряжения промежуточной частоты несущей изображения. При таком соотношении получается достаточно эффективное преобразование сигналов, причем помехи в звуковом канале, создаваемые сигналом изображения, сравнительно просто устраняются с помощью амплитудного ограничителя.

В приемниках цветного телевидения УПЧИ строится таким образом, чтобы сигнал звукового сопровождения в 60—100 раз был меньше сигнала изображения. Это делается для того, чтобы избежать возникновения биений между колебаниями промежуточной частоты звукового сопровождения и поднесущими частотами, на которых передаются сигналы цветности. Если указанное соотношение не будет выдержано, на выходе видеодетектора возникнут помехи с частотами 1,75—2,6 МГц, которые значительно понизят качество цветного изображения. Для уменьшения сигналов звукового сопровождения в состав УПЧИ обычно включают режекторный фильтр, настроенный на промежуточную частоту звукового сопровождения. Поскольку на выходе УПЧИ цветного телевизора сигнал звука в 60—100 раз меньше видеосигнала, использовать видеодетектор в качестве преобразователя частоты для образования колебаний 6,5 МГц нецелесообразно.

Для получения второй промежуточной частоты звука 6,5 МГц в цветных телевизорах применяется отдельный диодный преобразователь частоты, на который подаются сигналы изображения и звука с той точки УПЧИ, в которой напряжение сигнала первой промежуточной частоты звука в 10—20 раз меньше напряжения сигнала изображения.

Высокая степень подавления сигналов звукового сопровождения в УПЧИ цветного телевизора является причиной, вызывающей повышение требований к стабильности частоты гетеродина блока СК. Действительно, для подавления сигналов звукового сопровождения в 60—100 раз необходимо применить несколько высокодобротных режекторных контуров. Их действие будет эффективным лишь при условии, когда $f_{п.ч.зв}$ будет совпадать с частотой настройки. Если же частота гетеродина будет отличаться от требуемой на значение более чем ± 50 кГц, то на такое же значение будет отличаться от номинальной частота $f_{п.ч.зв}$, что вызовет недопустимую расстройку и появление помех на экране телевизора.

Другими особенностями УПЧИ цветного телевизора являются: 1) большее усиление полезных сигналов; 2) бóльшая равномерность АЧХ; 3) бóльшая линейность фазовой характеристики; 4) более глубокое подавление сигналов промежуточной частоты звукового сопровождения и сигналов звукового сопровождения соседнего (с меньшим номером) канала.

Первые три перечисленные особенности построения УПЧИ цветного телевизора связаны с большей чувствительностью системы цветного телевидения (по сравнению с черно-белой) к различного рода искажениям сигнала. При увеличении коэффициента усиления УПЧИ возрастает видеосигнал, подаваемый на видеодетектор, что приводит к снижению искажений, возникающих при детектировании. Более высокие требования к равномерности частотной характеристики УПЧИ вызваны наличием в спектре яркостного сигнала сигналов цветности. В полосе 33—34,25 МГц неравномерность АЧХ не должна превышать $\pm 1{,}5$ дБ, так как в противном случае ЧМ сигналы цветности приобретут дополнительную паразитную амплитудную модуляцию и на изображении возникнут разнояркие строки. Уменьшение полосы пропускания канала УПЧИ в области, где расположен спектр сигналов цветности, вызывает нарушение амплитудных соотношений между сигналами яркости и цветности, что приводит к цветовым искажениям.

Следует остановиться на четвертой особенности, приводящей к необходимости обеспечения более высокой селективности по соседнему каналу. Положим, что

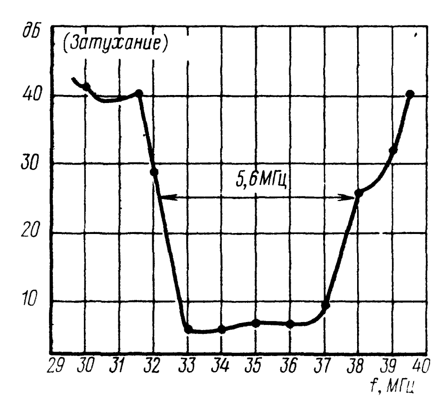


Рис. 9.4. Частотная характеристика затухания УПЧИ цветного телевизора

осуществляется прием сигналов по одиннадцатому каналу с несущей изображения $f_{н.из}^{(XI)} = 215{,}25$ МГц и несущей звука $f_{н.зв}^{(XI)} = 221{,}75$ МГц. Частота гетеродина устанавливается равной $f_{г}^{(XI)} = 253{,}25$ МГц. В селекторе каналов образуется промежуточная частота изображения одиннадцатого канала $f_{п.ч.из}^{(XI)} = 115{,}25—11{,}25 = 38$ МГц. Кроме того, на преобразователь частоты воздействует сигнал звукового сопровождения соседнего десятого канала, несущая которого имеет номинальную частоту 213,75 МГц. В результате на вход УПЧИ помимо полезных сигналов, принимаемых по одиннадцатому каналу, поступает помеха с частотой $f_{пом} = f_{г}^{(XI)} - f_{н.зв}^{(X)} = 253.25 - 213{,}75 = 39{,}5$ МГц, создаваемая десятым каналом. Разность частот между $f_{п.ч.из}^{(XI)}$ принимаемого сигнала и $f_{пом}$ составляет всего 1,5 МГц. Это приводит к увеличению требований к селективности по соседнему каналу, которую должен обеспечить УПЧИ.

Частотная характеристика селективности УПЧИ цветного телевизора представлена на рис. 9.4. Как видно из рисунка, неравномерность в интервале частот от 33 до 34,25 МГц (интервал, в котором передаются сигналы цветности) не превышает ± 1,5 дБ, подавление частотных компонент в области 31,5 МГц (промежуточная частота звукового сопровождения) составляет 40 дБ, подавление сигнала звукового сопровождения соседнего канала с частотой 39,5 МГц также составляет 40 дБ. Усилитель промежуточной частоты изображения цветного телевизора выполняется обычно трехкаскадным в ламповом и пятикаскадным в транзисторном варианте.

Особенности канала яркости

Яркостный канал приемника цветных изображений сложнее, чем аналогичный канал черно-белого телевизора. Масочный кинескоп управляется модулирующим видеосигналом размахом от 70 до 150 В, что практически вдвое превышает напряжение, необходимое для модуляции черно-белого кинескопа. Если на выходе видеодетектора размах видеосигнала составляет 1,5—2 В, то необходимо иметь видеоусилитель с коэффициентом усиления более 50. При усилении видеосигнала до напряжения 70—150 В нелинейные искажения не должны превышать 10%. Это необходимо для достижения высокого качества цветопередачи.

Обычно канал яркости цветного телевизора состоит из трех-четырех усилительных каскадов (рис. 9.5). Первый каскад является разделительным. С его выхода видеосигнал подается по трем направлениям: к каналу цветности, к селектору синхросигнала, к последующим каскадам видеоусилителя. Ко второму каскаду яркостного канала подключается обычно линия задержки *ЛЗ*, необходимая для согласования во времени сигналов яркости и цветности, подаваемых на цветной кинескоп. Из-за сравнительно узкой полосы пропускания усилительных каскадов в блоке цветности цветоразностные сигналы оказываются несколько задержанными относительно яркостного сигнала. Введение линии задержки с $\tau_{зад} = 0{,}7$ мкс в яркостный канал компенсирует это рассовмещение.

Для нормальной работы линии задержки необходимо обеспечить ее согласование как со входа, так и с выхода. Согласование выходного сопротивления каскада со сравнительно низким характеристическим сопротивлением линии задержки приводит к существенному уменьшению коэффициента усиления, что компенсируется введением дополнительных усилительных каскадов.

С выходного каскада видеосигнал поступает одновременно на три катода кинескопа. Суммарная емкость трех катодов кинескопа и емкость монтажа состав-

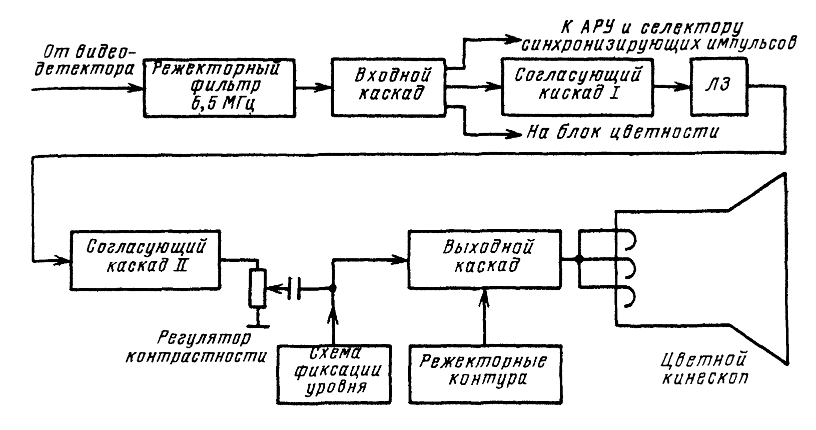


Рис. 9.5. Структурная схема канала яркости цветного телевизора

ляют относительно корпуса телевизора приблизительно 40 пФ. Для получения сигнала напряжением 70—150 В в полосе частот до 6 МГц в выходных каскадах необходимо применять сравнительно мощные усилительные элементы в сочетании с частотной коррекцией.

На входе канала яркости имеется режекторный фильтр, настроенный на частоту 6,5 МГц, который исключает возможность прохождения на последующие каскады звуковой несущей. С выхода первого каскада сигналы поступают на схему АРУ, селектор синхронизирующих импульсов и на блок цветности. Первый и второй каскады выполнены так, чтобы обеспечить согласованное включение линии задержки. Выходное сопротивление второго согласующего каскада невелико, что позволяет включить на его выходе регулятор контрастности. На входе последнего каскада осуществляется восстановление постоянной составляющей видеосигнала с помощью схемы фиксации уровня.

В состав выходного каскада входят два контура, которые обеспечивают режекцию поднесущих частот. Цветовые поднесущие, наложенные на сигнал яркости, могут вызвать уменьшение насыщенности окрашенных участков изображения из-за паразитного детектирования сигнала на квадратичном участке модуляционной характеристике кинескопа. Режекторная цепь обычно образуется двумя одинаковыми контурами, настроенными на частоту 4,3 МГц. Связь между контурами выбирается больше критической. В результате частотная характеристика режекторной цепи получается двугорбой с минимумами на частотах 4,02 и 4,68 МГц, как показано на рис. 9.6.

Форму АЧХ режекторной цепи выбирают исходя из необходимости подавить участки спектра с максимальной энергией и в то же время сохранить возможно большую четкость. Эти требования противоречивы. Экспериментально было установлено, что разумный компромисс имеет место при подавлении сигнала на 15 дБ на частотах 4,02 и 4,68 МГц.

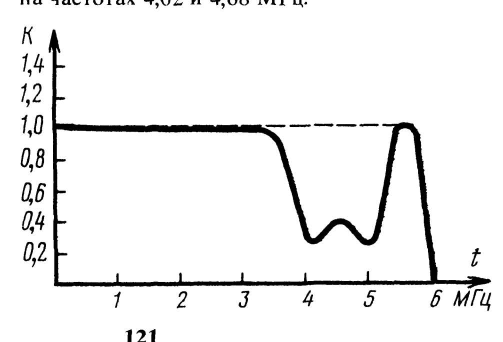


Рис. 9.6. Амплитудно-частотная характеристика

При приеме черно-белых программ наличие режекторных контуров приводит к неоправданному снижению четкости. По этой причине в канале яркости предусматривается возможность их отклонения. В этом случае частотная характеристика принимает вид, показанный на рис. 9.6 штриховой линией.

Блок цветности

Блок цветности выполняет следующие функции: а) выделяет из спектра полного сигнала полосу частот, в которой заключены составляющие сигналов цветности; б) детектирует сигналы цветности; в) усиливает полученные в результате детектирования цветоразностные сигналы E'_{R-Y} и E'_{B-Y}; г) формирует третий цветоразностный сигнал E'_{G-Y}; д) корректирует высоко- и низкочастотные предыскажения сигнала, введенные в кодирующем устройстве.

Структурная схема блока цветности представлена на рис. 9.7. Для удобства рассмотрения на этом рисунке показан видеоусилитель накала яркости, с которого полный сигнал цветного телевидения поступает в блок цветности. Сам видеоусилитель в состав блока цветности не входит.

Сигнал с видеоусилителя поступает на фильтр, представляющий собой параллельный колебательный контур, настроенный на частоту 4,286 МГц. Частотная характеристика контура $A'_{\text{в.ч}}(f)$ показана на рис. 8.10. Ее форма подобрана так, чтобы полностью скорректировать высокочастотные предыскажения, введенные с помощью соответствующего фильтра в кодирующем устройстве. После коррекции высокочастотных предыскажений сигналы цветности должны сохранять только частотную модуляцию, однако практически вследствие неточности коррекции и искажений сигнала в тракте передачи сигналы цветности имеют остаточную амплитудную модуляцию. Для устранения остаточной амплитудной модуляции усилительный каскад, включенный после фильтра, работает в нелинейном режиме. Перевод усилительного каскада в режим ограничения осуществляется подачей на базу транзистора соответствующего смещения и значительным увеличением сопротивления резистора в цепи эмиттера. Следующий каскад усилителя для обеспечения низкого выходного сопротивления обычно выполняется по схеме эмиттерного повторителя. Этим достигается значительное ослабление воздействия на блок цветности мешающих высокочастотных сигналов других смежных блоков телевизора и, кроме того, осуществляется согласование усилителя со входом ультразвуковой линии задержки.

С выхода усилителя сигналы цветности поступают на электронный коммутатор и линию задержки. С помощью линии задержки и электронного коммутатора последовательно передаваемые сигналы цветности преобразуются в одновременные сигналы, как это было показано при описании принципов системы SECAM. В качестве линии задержки сигналов цветности не представляется возможным применять известные и используемые в радиоаппаратуре широкополосные линии задержки с сосредоточенными и распределенными параметрами. Например, специальный кабель задержки РКЗ-401 имеет время задержки 0,7 мкс на 1 м длины. Для получения необходимого времени задержки $\tau_{\text{зад}} = 64$ мкс нужен кабель длиной 90 м.

По этой причине в цветных телевизорах системы SECAM применяются специальные малогабаритные ультразвуковые линии задержки. Принцип действия ультразвуковой линии задержки заключается в преобразовании электрических колебаний в механические (ультразвуковые). Такое преобразование осуществляется за счет использования известного явления пьезоэффекта. Электрический сигнал поступает на пьезопреобразователь, укрепленный на торце звукопровода прямоугольного сечения (рис. 9.8). Материалом звукопровода могут служить сталь, стекло, кварц. Поскольку пьезопреобразователь имеет сравнительно большую емкость, подача сигнала осуществляется через согласующий трансформатор. Пьезопреобразователь в зависимости от его конструкции может возбуждать в звукопроводе как продольные, так и поперечные колебания. При продольных ультразвуковых колебаниях (рис. 9.8*б*) направление деформации преобразователя совпадает с направлением распространения ультразвуковой волны. На рис. 9.8*б* штриховой линией показан деформированный под воздействием приложенного электриче-

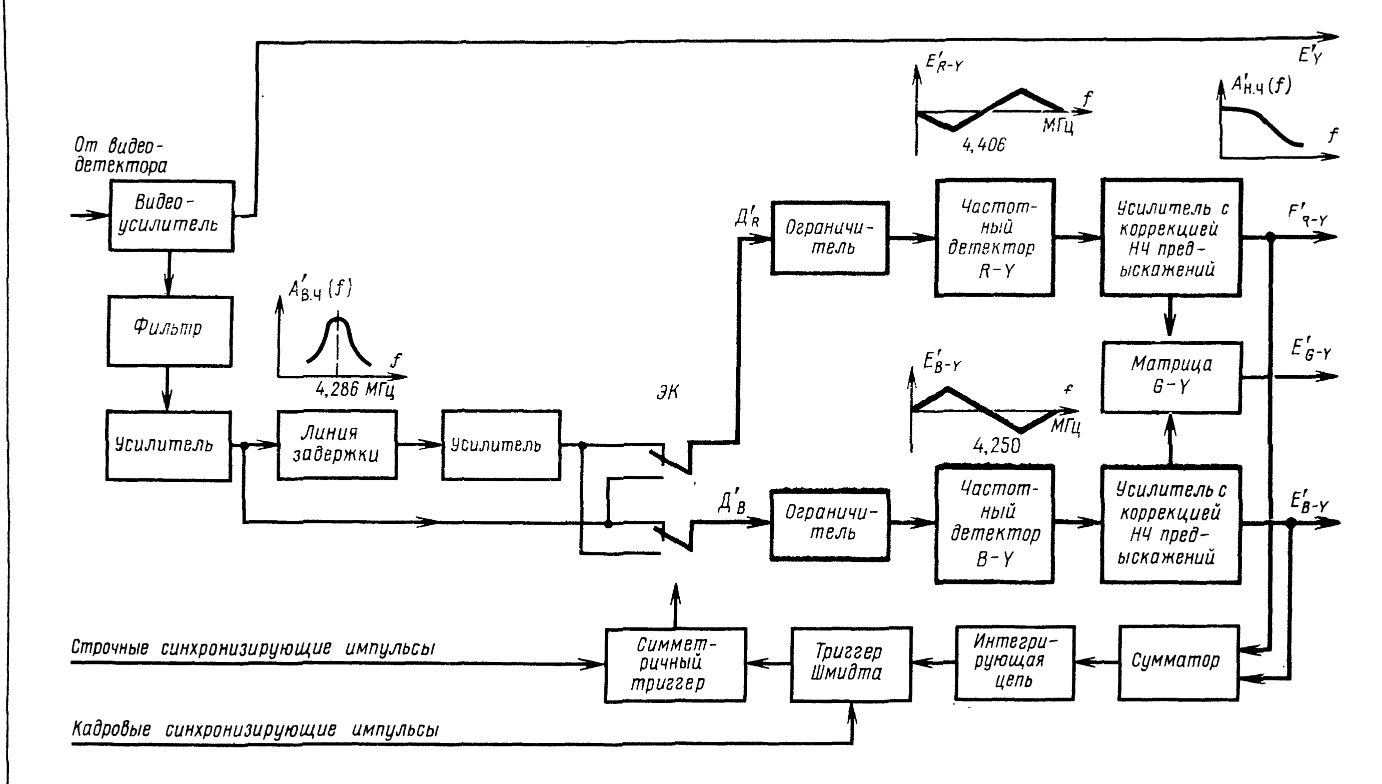


Рис. 9.7. Структурная схема декодирующего устройства цветного телевизора системы SECAM

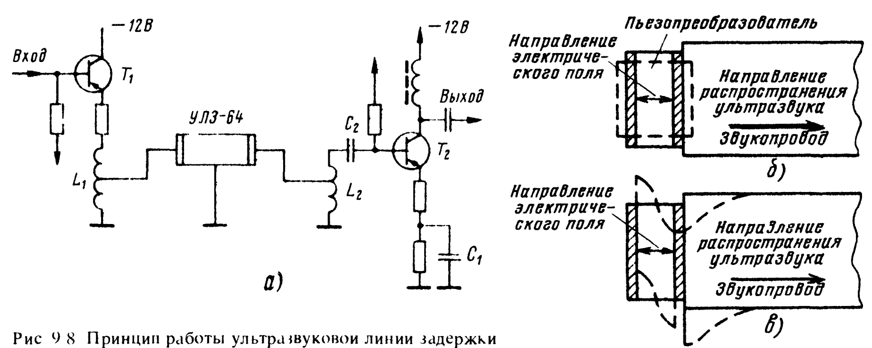


Рис 9 8 Принцип работы ультразвуковой линии задержки
а — схема включения линии задержки *б* — образование продольных ультразвуковых колебаний, *в* — образование поперечных ультразвуковых колебаний

ского поля пьезопреобразователь. Продольные колебания волновода вызывают смещение поверхности преобразователя.

На рис. 9.8*в* показан пьезопреобразователь, у которого деформация под воздействием электрического поля происходит в поперечном направлении (в направлении, перпендикулярном оси звукопровода). Этот вид колебаний имеет преимущества по сравнению с продольными. Линия задержки с поперечными колебаниями обеспечивает более широкую полосу пропускания, меньший уровень паразитных сигналов, образующихся за счет отражений от неоднородностей звукопровода. В линиях задержки с поперечными колебаниями скорость распространения ультразвуковой волны вдоль волновода меньше, чем при продольных колебаниях. Это позволяет в $\sqrt{3}$ раз уменьшить длину звукопровода. В приемниках системы SECAM используются линии задержки с поперечными колебаниями. Эти линии задержки обладают следующими параметрами: номинальная задержка 64±0,17 мкс, полоса пропускания на уровне 3 дБ 1,8 МГц, затухание сигнала 20дБ; волновое сопротивление 80 Ом и входная емкость 1000 пФ. Эти параметры должны быть высокостабильными, в частности, при изменении температуры. Линии задержки, выпускаемые нашей промышленностью, имеют температурный коэффициент задержки +9,1 нс/град.

Схема включения унифицированной линии задержки представлена на рис. 9.8*а* Для обеспечения согласования линия подключена к катушкам не полностью Частотная характеристика ультразвуковой линии задержки представлена на рис. 9.9. Как видно из рисунка, полоса пропускания линии составляет 1,8 МГц при неравномерности частотной характеристики, не превышающей 3 дБ. Ослабление, которое вносит линия задержки, 19—22 дБ.

Для компенсации затухания, вносимого линией задержки, в тракт задержанного сигнала включается усилитель. Обычно он состоит из двух каскадов. Один из них работает в режиме усилителя-ограничителя, что позволяет устранить паразитную амплитудную модуляцию, возникающую в цветовом сигнале из-за неравномерности АЧХ линии задержки.

Распределение сигналов $Д'_R$ и $Д'_B$, имеющихся на входе и выходе ЛЗ, по соответствующим каналам осуществляется с помощью электронного коммутатора

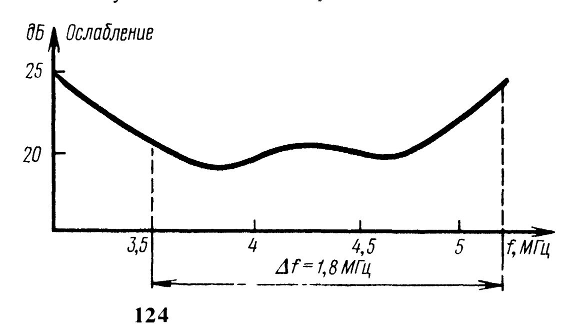


Рис 9 9 Амплитудно частотная характеристика ультразвуковой линии задержки

ЭК. К *ЭК* предъявляются следующие требования: 1) паразитная связь между выходами и входами *ЭК* через закрытые ветви должна быть минимальной. Уровень паразитных сигналов должен быть ниже уровня полезного сигнала не менее чем на 35 дБ; 2) неравномерность АЧХ в полосе частот 3—3,5 МГц не должна превышать ± 1 дБ; 3) для обеспечения устойчивой работы симметричного триггера, управляющего работой *ЭК*, необходимо, чтобы мощность, потребляемая *ЭК* по цепям управления, была минимальной.

Наиболее важным техническим требованием является первое. Прохождение сигнала по закрытой ветви на выход *ЭК* вызывает появление так называемых перекрестных искажений. Процесс возникновения перекрестных искажений поясняет рис. 9.10. Положим, что в рассматриваемый момент времени на вход *ЛЗ* поступает цветовой сигнал $Д'_B$. Тогда сигнал $Д'_R$, передававшийся в течение предыдущей строки, поступает на вход *1 ЭК* с выхода *ЛЗ*. Полезные сигналы поступают на выходы *5* и *6 ЭК* через замкнутые контакты *1—5* и *3—6*. В реальной схеме роль ключа выполняют диоды или транзисторы. Поэтому между контактами *2—5* и *4—6*, которые считаются в данный момент разомкнутыми, в действительности имеется некоторая проводимость. Прохождение сигнала $Д'_B$ на вход накала *R—Y* и сигнала $Д'_R$ на вход канала *B—R* показано на рис. 9.10 штриховой линией.

Наличие паразитной связи между каналами цветности вызывает искажение цветного изображения. Наиболее заметны перекрестные искажения на сравнительно больших участках изображения с однородной окраской. При передаче таких деталей сигналы $Д'_R$ и $Д'_B$ имеют постоянную частоту, определяющуюся насыщенностью и цветовым тоном. Поэтому перекрестные искажения сводятся к интерференции между двумя синосоидами с постоянными, но разными частотами. В результате такой интерференции возникают биения с соответствующей паразитной амплитудной и фазовой модуляцией. Паразитная амплитудная модуляция устраняется ограничителем, а паразитная фазовая модуляция вызывает искажения изображения. Действительно, фазовая модуляция поднесущей по синусоидальному закону эквивалентна частотной модуляции поднесущей по закону косинуса, поскольку $\Delta\omega = d\Phi/dt$. Так как далее следует частотный детектор, паразитная частотная модуляция образует перекрестную помеху.

Для устранения перекрестных искажений в цветных телевизорах применяются обычно восьмидиодные электронные коммутаторы. Принципиальная схема такого коммутатора представлена на рис. 9.11. Коммутатор собран на диодах $Д_1$—$Д_8$. Коммутирующие импульсы поступают на диоды через резисторы R_1, R_2 и R_3, R_4. Сигнал цветности (прямой сигнал) подается на коммутатор через конденсатор C_1, а с выхода *ЛЗ* — через конденсатор C_2. Генератором коммутирующих импульсов является симметричный триггер, собранный на транзисторах T_1 и T_2. Если на коллекторе T_2 имеется импульс положительной полярности, то диоды $Д_1$ и $Д_2$ будут открыты, а диоды $Д_5$ и $Д_8$ закрыты. Сигнал $Д'_B$ поступает на выход *2 ЭК*. Отрицательный импульс, действующий на коллекторе T_1, открывает диоды $Д_3$ и $Д_4$ и закрывает диоды $Д_6$ и $Д_7$. Сигнал $Д'_R$ поступает на выход *1*. Таким образом, на выходе *1* действует сигнал $Д'_R$, а на выходе *2* — сигнал $Д'_B$. При срабатывании триггера на коллекторе T_1 образуется импульс положительной полярности, а на коллекторе T_2 — отрицательной. В результате действия импульса отрицательной полярности диоды $Д_5$ и $Д_8$ открываются и на выход *2* поступает прямой сигнал

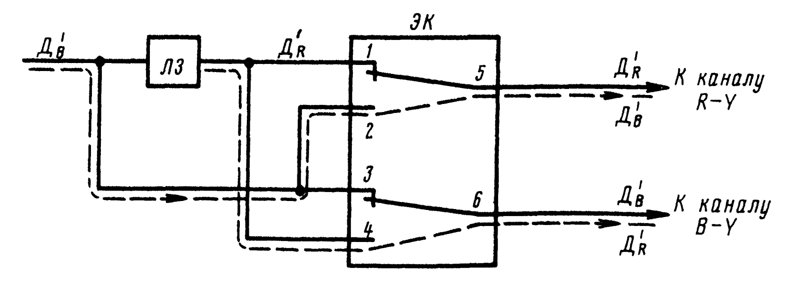


Рис. 9.10. Образование перекрестных помех в коммутаторе

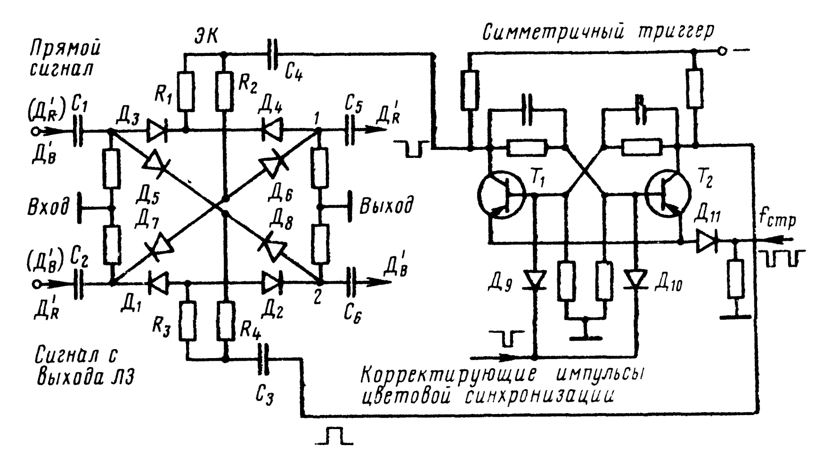


Рис 9.11. Принципиальная схема коммутатора и генератора коммутирующих импульсов

$Д'_B$. Импульс положительной полярности, поступающий с коллектора T_1, открывает диоды $Д_6$ и $Д_7$ и закрывает $Д_3$ и $Д_4$. На выход *1* проходит сигнал $Д'_R$, задержанный линией задержки.

Переключение триггера осуществляется импульсами строчной частоты ($f_{стр}$ = 15 625 Гц), поступающими через разделительный диод $Д_{11}$ одновременно на оба эмиттера транзисторов T_1 и T_2. На базы транзисторов T_1 и T_2 подаются корректирующие импульсы цветовой синхронизации, обеспечивающие переключение триггера в соответствии с порядком поступления в приемник сигналов $Д'_R$ и $Д'_B$.

В восьмидиодном *ЭК* перекрестные искажения сведены до вполне допустимого значения. Перекрестные искажения возникают в *ЭК* из-за действия емкостей *p—n* переходов коммутирующих диодов. Поэтому в *ЭК* применяются обычно диоды с проходной емкостью не более 1 пФ. Кроме того, применение в восьмидиодном *ЭК* последовательного включения двух диодов позволяет уменьшить паразитную эквивалентную емкость вдвое и соответственно уменьшить перекрестные искажения.

После *ЭК* сигналы $Д'_R$ и $Д'_B$ поступают на два ограничителя (см. рис. 9.7). Амплитудный ограничитель обеспечивает двустороннее ограничение сигналов. При этом устраняются импульсные помехи, попавшие в канал цветности, и паразитная амплитудная модуляция. Наибольшее распространение в приемнике цветного телевидения получил последовательный диодный ограничитель, принципиальная схема которого представлена на рис. 9.12. Через резистор R_3 на аноды диодов $Д_1$ и $Д_2$ подается положительное напряжение смещения. При отсутствии сигнала на входе оба диода открыты, и токи смещения протекают через резистор R_3, диоды $Д_1$ и $Д_2$ и резисторы R_1 и R_2, как показано на рис. 9.12 стрелками. При подаче синусоидального напряжения на вход его отрицательная полуволна свободно проходит через диод $Д_1$. Положительная полуволна ограничивается этим диодом, причем уровень ограничения тем больше, чем больше ток смещения, создаваемый источником *E*. Аналогично диод $Д_2$ ограничивает отрицательную полу-

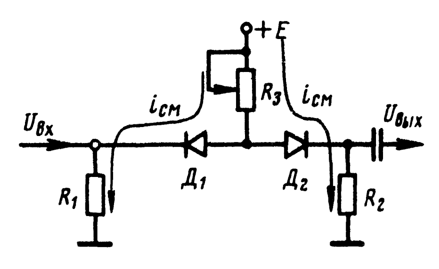


Рис. 9.12. Принципиальная схема амплитудного ограничителя

волну сигнала. Регулируя сопротивление R_3, можно менять уровни ограничения, что обычно используется для изменения амплитуды сигналов, поступающих на частотные детекторы. Поскольку частотные детекторы реагируют и на амплитуду сигнала, таким образом осуществляется регулировка насыщенности.

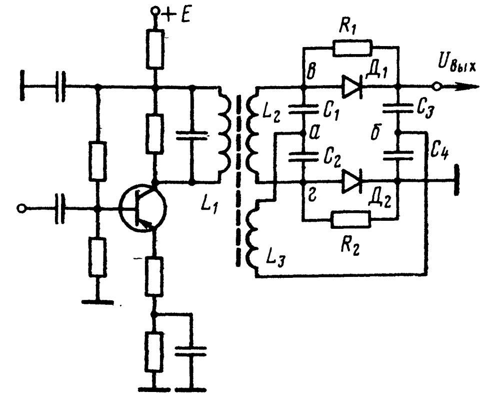


Рис. 9.13. Принципиальная схема частотного дискриминатора

Роль частотного детектора в приемнике системы SECAM может выполнять обычный фазовый дискриминатор, представленный на рис. 9.13. Нагрузкой транзистора является фазовращающий трансформатор, состоящий из трех обмоток с индуктивностями L_1, L_2 и L_3. Первичная цепь, настроенная на частоту 4,25 МГц, индуктивно связана со вторичной цепью через катушку L_3. Напряжение на катушке L_3 (точки *а, б*) совпадают по фазе с напряжением на первичной обмотке L_1. Напряжение на катушке L_2 (точки *в, г*) благодаря конденсаторам C_1 и C_2 сдвинуто по фазе на 90° по сравнению с напряжением на катушке L_3. На диоды $Д_1$ и $Д_2$ действует суммарное напряжение, снимаемое с катушек L_2 и L_3. Резонансная частота вторичной цепи составляет 4,25 МГц, поэтому при подаче на вход транзистора колебаний с частотой 4,25 МГц значения напряжений на диодах совпадают. Токи, протекающие через резисторы R_1 и R_2, равны и противоположны по направлению, и напряжение сигнала на выходе равно нулю. При отклонении частоты входного сигнала от номинального значения на нагрузке детектора R_1 и R_2 образуется сигнал, полярность и напряжение которого зависят от значения и направления девиации частоты.

Фазовые дискриминаторы в каналах *R—Y* и *B—Y* различаются частотами настройки резонансных цепей и полярностью включения диодов. Амплитудно-частотные характеристики дискриминаторов для каналов *R—Y* и *B—Y* показаны на рис. 9.14. Как видно из рисунка, АЧХ в каналах $Д'_R$ и $Д'_B$ проходят через нуль при частотах 4,406 и 4,25 МГц соответственно, имеют линейный участок в диапазоне приблизительно 1,5 МГц и являются как бы зеркально отображенными. Таким образом, увеличение частоты поднесущей на входе канала *R—Y* вызывает увеличение напряжения на его выходе, а аналогичное увеличение частоты на входе канала *B—Y* — соответствующее уменьшение напряжения.

По принципиальной схеме частотные дискриминаторы блока цветности практически не отличаются от частотных дискриминаторов в тракте звукового сопровождения, однако в их практическом выполнении и настройке имеется ряд существенных особенностей. Нулевые точки S-образных АЧХ дискриминаторов должны соответствовать частотам немодулированных поднесущих. Уход нулевых точек вследствие прогрева деталей не должен превышать ± 14 кГц. Если эта норма не выполняется, наблюдается окраска черно-белых деталей изображения. Раствор АЧХ, т. е. разнос по частоте ее максимумов, должен быть не менее 1,2 МГц. В противном случае наблюдается размытость переходов вдоль строки на границе двух цветов. Рабочий участок АЧХ должен быть симметричен относительно нулевой точки, и его нелинейность не должна превышать 5% для девиации +280 кГц и 25% для девиации ± 460 кГц. В противном случае возникают заметные искажения цветопередачи.

Конструктивно для обеспечения нужной стабильности нулевых точек каркас контура и сердечник выполняются из специального материала с повышенной температурной стабильностью. Для компенсации температурных уходов емкости C_1 и C_2 выбираются с отрицательным температурным коэффициентом.

Цветоразностные сигналы, образующиеся на выходах частотных детекторов, имеют характерные выбросы на переходах, вызванные низкочастотными предыскажениями, введенными на передающем конце. Кроме того, цветовые поднесущие

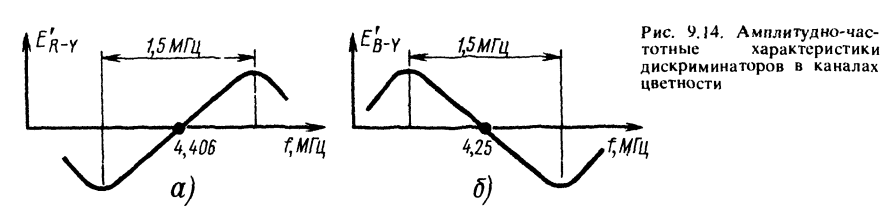


Рис. 9.14. Амплитудно-частотные характеристики дискриминаторов в каналах цветности

не полностью подавляются дискриминаторами и, проникая в цветоразностные сигналы, вызывают дополнительные искажения. Для подавления цветовых поднесущих на выходах частотных детекторов включаются фильтры-пробки, роль которых обычно выполняют LC-контуры. Для коррекции низкочастотных предыскажений включается последовательная цепь $R_к C_к$ (рис. 9.15). Цепь коррекции должна обеспечивать коэффициент передачи, зависящий от частоты в соответствии с выражением

$$A'_{н.ч}(f) = \frac{1 + jf/3f_1}{1 + jf/f_1},$$

где $f_1 = 85$ кГц.

При включении цепи $R_к C_к$ такой закон коррекции выполняется, если $R_к = R_i/2$; $R_к C_к = 1/(6\pi f_1)$, где R_i — выходное сопротивление частотного детектора.

После прохождения цепей коррекции низкочастотных предыскажений цветоразностные сигналы поступают на усилители, обеспечивающие необходимое напряжение для модуляции лучей цветного кинескопа. Напряжения цветоразностных сигналов, подаваемые на модуляторы цветного кинескопа, должны быть приблизительно в два раза больше напряжения яркостного сигнала, подаваемого на катоды. Выполнение цветоразностных усилителей упрощается, поскольку требуемая полоса пропускания не превышает 1,5 МГц.

Усилители цветоразностных сигналов могут быть выполнены как на лампах, так и на транзисторах. Рассмотрим, как наиболее простую, схему лампового усилителя, изображенную на рис. 9.16. Сигналы $-E'_{R-Y}$ и $-E'_{B-Y}$ с выходов частотных дискриминаторов поступают на сетки $Л_1$ и $Л_3$. С анодов усиленные сигналы поступают на кинескоп. Из сигналов $-E'_{R-Y}$ и $-E'_{B-Y}$ необходимо сформировать третий цветоразностный сигнал E'_{G-Y}. Формирование сигнала E'_{G-Y} осуществляется матрицированием сигналов E'_{R-Y} и E'_{B-Y}. Роль матрицы выполняют резисторы R_1, R_2 и $R_к$. При соответствующем выборе сопротивлений этих резисторов на катоде $Л_2$ происходит смешение сигналов E'_{R-Y} и E'_{B-Y} в пропорции, необходимой для получения сигнала E'_{G-Y}. Для осуществления точной настройки резисторы R_1 и R_2 делают переменными.

Более полной является транзисторная схема, представленная на рис. 9.17. Принцип действия этой схемы аналогичен рассмотренной. Однако имеются некоторые схемные различия. Усилители цветоразностных сигналов E'_{R-Y} и E'_{B-Y} выполнены на транзисторах T_1, T_2 и T_4, T_5, включенных попарно последовательно.

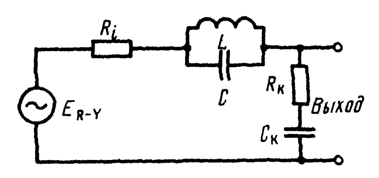


Рис. 9.15. Принципиальная схема режекторного контура

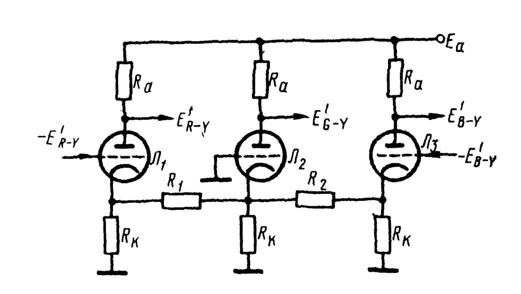


Рис. 9.16. Принципиальная схема лампового усилителя цветоразностных сигналов

Коррекция частотных искажений осуществляется с помощью катушек L_1 и L_3 и конденсаторов C_4, C_5. С эмиттеров T_1 и T_4 сигналы поступают на транзистор T_3. Резисторы R_2, R_4 и R_5 образуют матрицу сигнала E'_{G-Y}. Конденсаторы C_6 и C_7 компенсируют влияние конденсаторов C_4 и C_5 на форму сигнала E'_{G-Y}.

Усиленные цветоразностные сигналы поступают на кинескоп через конденсаторы C_1 — C_3 с коллекторов транзисторов T_2, T_3 и T_5. В коллекторные цепи этих транзисторов включены фиксирующие цепи, осуществляющие фиксацию уровней цветоразностных сигналов. Фиксирующие цепи управляются импульсами строчной частоты, поступающими от генератора строчной развертки, через резистор R_8. Напряжение фиксации устанавливается подбором сопротивлений резисторов делителя R_6, R_7 и подается в схему через диод $Д_4$. Диоды $Д_1$—$Д_4$, входящие в состав фиксирующих схем, должны выдерживать достаточно большие обратные напряжения (до 300 В) и иметь малое сопротивление в прямом направлении. Поэтому в качестве ключей в схемах восстановления постоянной составляющей можно использовать некоторые типы мощных диодов.

Как отмечалось ранее, электронный коммутатор, распределяющий сигналы цветности по каналам, управляется симметричным триггером (см. рис. 9.11). Таким образом, порядок коммутации сигналов определяется напряжениями, действующими на его плечах. При включении телевизора начальное состояние триггера устанавливается случайно. Поэтому вполне возможно, что при поступлении импульсов строчной синхронизации на его вход распределение сигналов по цветовым каналам произойдет неправильно, т. е. сигнал $Д'_R$ попадет в канал $B—Y$, а сигнал $Д'_B$ в канал $R—Y$.

Для распознавания цветности приходящих сигналов необходимо передавать соответствующую информацию. Сигнал опознавания цвета (сигнал цветовой синхронизации) удобно передавать либо во время обратного хода луча по строке, сразу после синхронизирующего импульса, либо во время обратного хода по кадру. Теоретически нет необходимости передавать сигналы цветовой синхронизации в течение всего времени телевизионной передачи. Достаточно один раз в начале передачи установить правильную фазу работы электронного коммутатора. Однако следует учитывать возможность сбоя работы триггера из-за наличия помех. Кроме того, при приеме черно-белой программы необходимо обеспечить закрывание каналов цветности, для того чтобы исключить попадание помех с блока цветности на экран кинескопа. Для автоматического закрывания и открывания каналов цветности при приеме цветных и черно-белых программ в сигнале необходимо также иметь информацию, позволяющую легко отличать сигналы цветной программы от сигнала черно-белой. Поэтому оказывается необходимым регулярно передавать сигналы цветовой синхронизации.

В системе SECAM сигнал цветовой синхронизации передается с частотой полей после окончания задних уравнивающих импульсов, следующих после им-

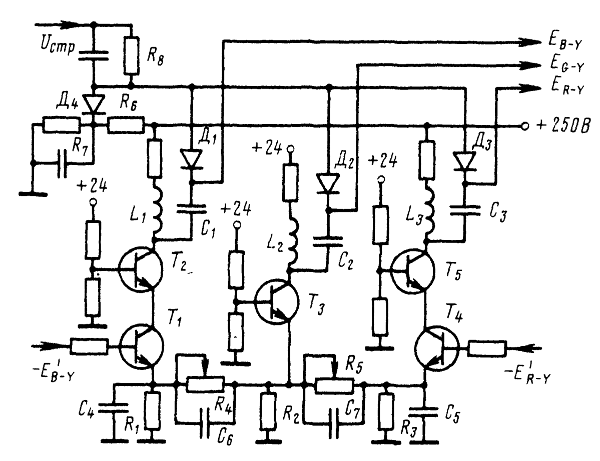


Рис. 9.17. Принципиальная схема усилителя цветоразностных сигналов на транзисторах

пульса кадровой синхронизации. Сигналы опознавания формируются в кодирующем устройстве в виде серии из девяти импульсов трапецеидальной формы отрицательной полярности. Длительность каждого импульса соответствует длительности развертки одной строки изображения. На передающем конце импульсы цветовой синхронизации замешиваются в оба цветоразностных сигнала. Так как при образовании сигнала $Д'_R$ исходный E'_{R-Y} передается в отрицательной полярности, в кодирующем устройстве он проходит через фазоинвертор. Вместе с сигналом E'_{R-Y} в фазоинверторе меняют полярность импульсы опознавания цвета. Таким образом, в сигнале $Д'_B$ импульсы опознавания остались отрицательными, а в сигнале $Д'_R$ стали положительными, как это показано на рис. 9.18*а*. Сигнал опознавания вместе с цветоразностными сигналами в кодирующем устройстве подается на частотный модулятор. В результате воздействия сигналов $Д'_R$ и $Д'_B$ частота на выходе ЧМ генератора кодирущего устройства изменяется в соответствии с графиком на рис. 9.18*б*. На этом рисунке показана девиация частоты поднесущей при передаче импульсов цветовой синхронизации. До прихода первого импульса синхронизации из канала $Д'_B$ частота поднесущей равна номинальному значению f_{B0}. При поступлении первого импульса цветовой синхронизации частота начинает плавно уменьшаться, так как сигнал цветовой синхронизации в канале имеет отрицательную полярность. За время действия импульса частота уменьшается на 1,52 МГц и достигает 3,9 МГц. Окончанию первого импульса цветовой синхронизации соответствует конец развертки строки. На частотный модулятор поступает сигнал $Д'_R$. Частота ЧМ скачком устанавливается равной f_{R0} — номинальной частоте поднесущей, а затем плавно возрастает на 1,25 МГц. Таким образом, во время передачи импульсов цветовой синхронизации частота на выходе генератора изменяется от 3,9 до 4,756 МГц.

Образовавшийся сигнал цветовой синхронизации имеет вид частотно-модулированных пакетов, прерываемых в интервалы передачи строчных синхронизирующих импульсов, как показано на рис. 9.18*в*. Однако, как видно из рисунка, пакеты сигнала цветовой синхронизации модулированы и по амплитуде. Эта амплитудная модуляция возникает при прохождении частотно-модулированного цветового сигнала через цепь высокочастотных предыскажений в кодирующем устройстве. Это искажение импульсов цветовой синхронизации никак не отражается на работе схемы телевизионного приемника, так как сигнал цветовой синхронизации в том виде, в каком он изображен на рис. 9.18*в*, имеется лишь на выходе видеодетектора. После прохождения цепи коррекции высокочастотных предыскажений в блоке цветности приемника амплитудная модуляция устраняется.

Стандартом на систему цветного телевидения для передачи сигналов цветовой синхронизации отведены строки с 7-й по 15-ю в нечетных полях и с 320-й по 328-ю в четных.

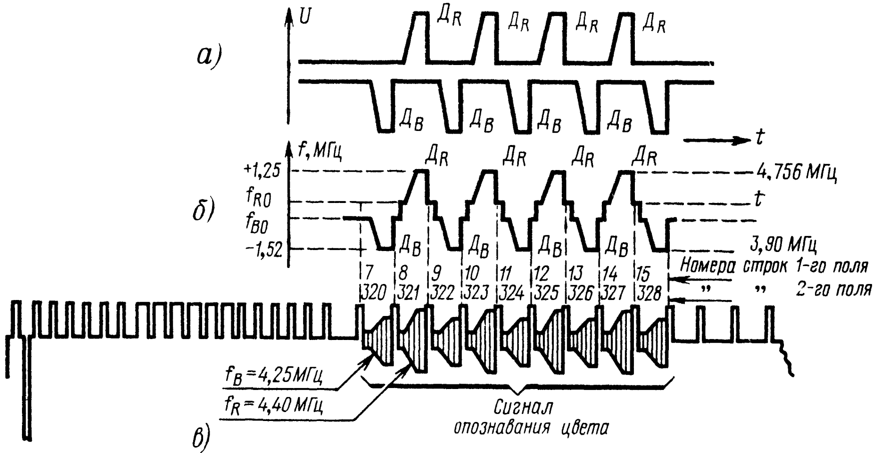


Рис. 9.18. Импульсы цветовой синхронизации и передача сигнала цветовой синхронизации

В блоке цветности сигналы цветовой синхронизации проходят все стадии обработки вместе с сигналами $Д'_R$ и $Д'_B$. После электронного коммутатора они поступают на частотные детекторы и детектируются. При правильной фазе работы электронного коммутатора сигналы $Д'_R$ и $Д'_B$ вместе с сигналами цветовой синхронизации поступают в «свои» каналы. При этом на выходах обоих дискриминаторов импульсы опознавания будут положительными. Действительно, в канале *R—Y* при увеличении частоты напряжение на выходе дискриминатора положительно (см. рис. 9.14*а*). При передаче сигнала опознавания $Д'_B$ частота ниже номинальной 4,25 МГц, при этом согласно рис. 9.14*б* напряжение сигнала на выходе частотного дискриминатора сигнала E'_{B-Y} также положительно. На выходах усилителей цветоразностных сигналов импульсы цветовой синхронизации имеют отрицательную полярность, так как усилительные каскады изменяют фазу сигнала на 180°.

При неправильной работе электронного коммутатора сигнал $Д'_R$ поступает на частотный дискриминатор канала *B—Y*. Так как сигнал синхронизации при передаче $Д'_R$ имеет частоту выше 4,25 МГц, на которую настроен этот дискриминатор, сигнал на его выходе будет иметь отрицательную полярность, как это следует из рис. 9.14*б*. Аналогично можно показать, что на выходе второго дискриминатора импульсы цветовой синхронизации будут иметь отрицательную полярность. На выходе усилителей цветоразностных сигналов импульсы цветовой синхронизации положительны.

Таким образом, о правильности работы электронного коммутатора в блоке цветности можно судить по полярности импульсов цветовой синхронизации на выходах каналов *R—Y* и *B—Y*. Если полярность отрицательная, работа коммутатора происходит в правильной фазе, если положительная — необходима коррекция фазы.

Коррекция фазы работы коммутатора может быть выполнена подачей специального импульса на симметричный триггер, с помощью которого осуществляется дополнительное его срабатывание в интервале между двумя импульсами строчной синхронизации, управляющими его работой.

Формирование корректирующего импульса осуществляется следующим образом. Сигналы цветовой синхронизации вместе с цветоразностными сигналами с выходов соответствующих каналов поступают на суммирующее устройство (см. рис. 9.7). На выходе сумматора включена интегрирующая цепь, с помощью которой осуществляется выделение из сигналов цветности импульсов цветовой синхронизации и их интегрирование. Осциллограммы сигналов опознавания цвета на входе и выходе интегрирующей цепи при правильной фазе работы электронного коммутатора показаны на рис. 9.19*а* и *б*.

Выделенные импульсы цветовой синхронизации поступают на триггер Шмидта (рис. 9.20*а*). На триггер поступают также импульсы кадровой синхронизации отрицательной полярности. Работа триггера осуществляется следующим образом. При увеличении отрицательного напряжения на базе транзистора T_1 до значения $U_{отк}$ (рис. 9.20*б*) этот транзистор откроется и останется в данном состоянии при дальнейшем увеличении отрицательного напряжения. Если теперь начать уменьшать отрицательный потенциал на базе транзистора T_1, то каскад закроется при напряжении $U_{зак}$, меньшем чем $U_{отк}$. Работа триггера Шмидта характеризуется петлей гистерезиса, изображенной на рис. 9.20*б*. Если установить напряжение смещения на базе T_1 с помощью резистора R_2 в пределах между $U_{отк}$ и $U_{зак}$, то опрокидывание триггера возможно лишь, когда управляющее напряжение на базе T_1 будет превышать определенное значение, называемое пороговым.

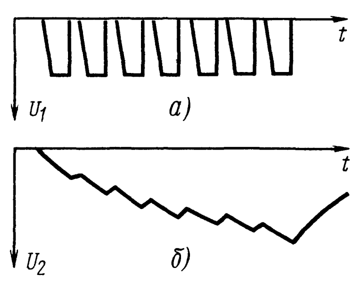


Рис. 9.19 Преобразование сигналов опознавания цвета в приемнике

Принцип выделения корректирующего импульса с помощью триггера Шмидта поясняется рис. 9.20*в* — *д*. Кадровый синхронизирующий импульс поступает на базу транзистора T_1 через дифференцирующую цепь C_1R_3. На входе схемы импульс имеет прямоугольную форму (рис. 9.20*в*), а на базе тран-

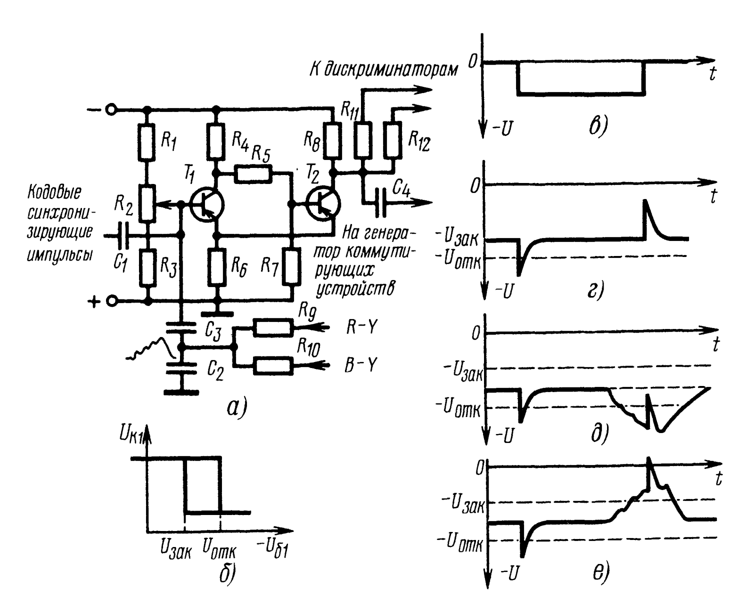


Рис. 9.20. Пояснение принципа цветовой синхронизации

зистора T_1 образуются два остроконечных импульса (рис. 9.20*г*), совпадающие во времени с фронтом и спадом исходного импульса. Отрицательный импульс вызывает открывание T_1, а положительный — закрывание. Таким образом, если на триггер подаются только кадровые синхронизирующие импульсы, происходит его срабатывание от каждого импульса. Такой режим работы соответствует приему черно-белых программ. На коллекторе T_2 образуются прямоугольные импульсы, которые через резисторы R_{11} и R_{12} поступают на дискриминаторы блока цветности. Данные импульсы открывают частотные дискриминаторы на время действия сигналов цветовой синхронизации (обратный ход кадровой развертки). В остальные интервалы времени каналы цветности закрыты. Открывание каналов цветности осуществляется для того, чтобы при переходе на цветную передачу обеспечить прохождение по каналам блока цветности сигналов цветовой синхронизации и перевод триггера Шмидта в новый режим работы.

Допустим теперь, что в телевизионный приемник поступили сигналы цветной передачи. На выходах каналов *R—Y* и *B—Y* появились импульсы цветовой синхронизации. При этом возможно, что электронный коммутатор правильно распределяет сигналы по каналам. В этом случае с конденсатора интегрирующей цепи C_2 (рис. 9.20*д*) на базу T_1 триггера поступит импульс отрицательной полярности. Этот импульс сложится с положительным остроконечным импульсом кадровой синхронизации и сместит его вниз, как это показано на рисунке. При этом транзистор T_1 триггера останется открытым. В этом состоянии он останется до тех пор, пока будет вестись цветная телепередача, и если не произойдет сбоя в работе симметричного триггера. Если же такой сбой произойдет, на выходе интегрирующей цепи появится импульс положительной полярности. Корректирующий импульс, сложившись с импульсом кадровой синхронизации (рис. 9.20*е*), вызовет закрывание транзистора T_1. При этом с коллектора T_2 на вход триггера, управляющего работой *ЭК*, поступит корректирующий импульс, и правильная работа коммутатора восстановится.

Глава десятая. СИСТЕМА ЦВЕТНОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ PAL

Развитие системы PAL и принципы ее построения

Система PAL разработана в 1962—1966 гг. фирмой Telefunken (ФРГ). Название системы составлено из начальных букв английской фразы Phase Alternation Line, означающей «перемена фазы по строкам». Система PAL принята в качестве стандартной системы цветного телевидения в ряде стран Западной Европы (ФРГ, Англия, Швеция, Дания, Бельгия, Норвегия, Финляндия, Голландия и др.).

В системе PAL используются те же сигналы, что и в других совместимых системах цветного телевидения, т. е. сигнал яркости и два цветоразностных сигнала. Так же, как в системе NTSC, применяется квадратурный метод модуляции поднесущей цветоразностными сигналами. Однако фаза одной из квадратурных составляющих в системе PAL изменяется от строки к строке на 180°.

При рассмотрении принципов построения системы NTSC отмечалось, что восстановление поднесущей частоты в приемнике должно осуществляться с высокой точностью. Применение квадратурного метода модуляции привело к пересмотру норм на допустимые отклонения ряда характеристик трактов, использующихся для передачи сигналов цветного телевидения. Применение метода перемены фазы одной из квадратурных составляющих направлено на уменьшение чувствительности системы к фазовым искажениям.

Рассмотрим принципы устранения искажений, вызываемых фазовыми сдвигами поднесущей, с помощью векторных диаграмм, представленных на рис. 10.1. Предположим, что в течение одной строки с помощью сигналов E'_{R-Y} и E'_{B-Y} передается сигнал цветности, отображаемый на векторной диаграмме вектором $-U_{цв1}$ Положение данного вектора соответствуют случаю передачи пурпурного цвета. На рис. 10.1 отмечены положения векторов, соответствующие передаче других цветов: голубого, зеленого, желтого и красного. При переходе к развертке следующей строки изображения фаза квадратурной составляющей E'_{R-Y} меняется на 180°. Как следует из рис. 10.1*б*, в этом случае изменяется положение векторов, характеризующих передачу перечисленных цветовых оттенков. Происходит как бы поворот векторов относительно горизонтали. В результате вектор $U_{цв\,1}$, который на рис. 10.1*а* был повернут относительно горизонтали на угол φ против часовой стрелки, на рис. 10.1*б* занимает положение, определяемое поворотом на угол φ по часовой стрелке. Такие векторы называются комплексно-сопряженными. Аналогично комплексно-сопряженными являются векторы, характеризующие желтый, красный, синий и другие цвета.

Предположим, что из-за искажений в тракте передачи произошел фазовый сдвиг сигнала относительно сигнала цветовой синхронизации — вспышки (пакета) поднесущей. В этом случае при детектировании в приемнике опорные частоты поднесущей, подаваемые на синхронные детекторы, будут восстановлены правильно, а сигнал цветности окажется сдвинутым на угол $\Delta\varphi$ относительно исходного $U_{цв1}$. На рис. 10.1 этот сигнал обозначен как $U'_{цв1}$.Из рис. 10.1

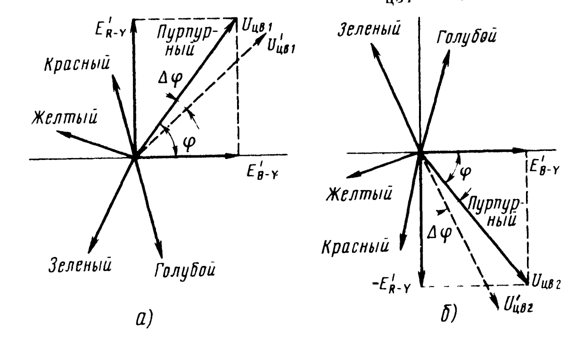


Рис. 10.1. Пояснения принципа коммутации фазы одной из квадратурных составляющих: *а* — обычная векторная диаграмма, принятая в системе NTSC; *б* — векторная диаграмма после изменения фазы сигнала E'_{R-Y} на 180°

видно, что произошел сдвиг вектора сигнала цветности на угол $\Delta\varphi$ по часовой стрелке. В системе NTSC в этом случае на экране был бы воспроизведен цветовой оттенок, приближающийся к синему. При передаче следующей строки вектор $U_{цв2}$ также приобретет фазовый сдвиг, который отразится на диаграмме на рис. 10.1*б* смещением вектора $U_{цв2}$ по часовой стрелке на тот же угол $\Delta\varphi$. (Напомним, что фазовый сдвиг возник в тракте передачи и он одинаков для сигналов обеих строк.) Однако, как следует из рис. 10.1*б*, в этом случае переданный цветовой оттенок сместится по направлению к красному. Ясно, что результирующие искажения цветового тона в соседних строках направлены встречно и могут быть скомпенсированы.

Процесс компенсации искажений цветового тона в системе PAL поясняется рис. 10.2. Здесь произведено сложение векторов $U'_{цв1}$ и $U'_{цв2}$, причем вектор $U_{цв2}$ получен поворотом векторной диаграммы рис. 10.1*б* относительно оси E'_{B-Y}. Как видно из рис. 10.2, результирующий вектор U_S занимает положение, совпадающее с положением вектора $U_{цв1}$, переданного телевизионным центром. Таким образом, цветовой тон будет воспроизведен без искажений.

Из рассмотренного не следует, что система PAL обеспечивает высококачественное изображение при любых фазовых сдвигах. На рис. 10.3 показано сложение сигналов двух соседних строк для двух фазовых сдвигов $\Delta\varphi$ и $\Delta\varphi'$. Как видно из рисунка, при разных фазовых сдвигах результирующий вектор имеет разную длину. В частности, при фазовом сдвиге $\Delta\varphi'$ длина результирующего вектора оказывается на ΔU_S меньше, чем при фазовом сдвиге $\Delta\varphi$. Изменение длины вектора приводит к ошибкам в воспроизведении насыщенности цвета. Следует отметить, что заметные искажения насыщенности получаются при сравнительно больших фазовых ошибках, поскольку зрение сильнее реагирует на изменение цветового тона, чем на изменение насыщенности.

Для технической реализации данного метода необходимо внести некоторые изменения в схемы кодирующего и декодирующего устройств, принятых в системе NTSC. В кодирующее устройство необходимо ввести коммутатор фазы поднесущей. В декодирующее устройство приемника — суммирующие устройства и линию задержки. Линия задержки необходима, поскольку суммируемые сигналы, изображенные на рис. 10.2, относятся к соседним строкам изображения. Поэтому, прежде чем произвести сложение сигналов, необходимо один из сигналов задержать на время передачи одной строки изображения.

Необходимо отметить, что выигрыш в точности воспроизведения цветовых оттенков, который получается в системе PAL, сопровождается проигрышем по другим параметрам. Так, например, сложение сигналов двух соседних строк приводит к снижению резкости границы перехода между разноцветными деталями изображения в вертикальном направлении. Введение линии задержки делает приемник системы PAL более сложным по сравнению с приемником системы

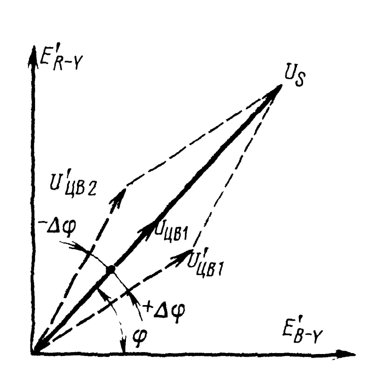


Рис. 10.2. Компенсация цветовых искажений при сложении сигналов соседних строк в системе PAL

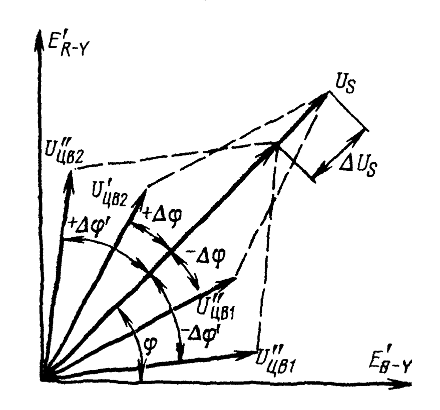


Рис. 10.3. Искажение насыщенности передаваемого цвета при больших фазовых ошибках

NTSC. Выигрыш, который реализуется за счет малой чувствительности системы PAL к фазовым искажениям, оказывается весьма существенным в реальных условиях передачи и обеспечивает высокое качество цветного изображения.

Кодирующее устройство системы PAL

Структурная схема кодирующего устройства системы PAL представлена на рис. 10.4. В матрице из сигналов E'_R, E'_G и E'_D формируются сигналы E'_Y, E'_{R-Y} и E'_{B-Y}. Цветоразностные сигналы через ФНЧ, ограничивающие их спектр, поступают на балансные модуляторы. Один из них служит для модуляции поднесущей сигналом E'_{R-Y}, а другой E'_{B-Y}. Балансный модулятор *II* получает колебания поднесущей частоты непосредственно от генератора поднесущей. На балансный модулятор *I* колебания поднесущей поступают через коммутатор фазы и фазовращатель. Фазовращатель обеспечивает сдвиг фазы 90°, а коммутатор изменяет фазу колебания, поступающего от генератора поднесущей, на 180° от строки к строке. Управление коммутатором осуществляется специальными импульсами, поступающими от генератора коммутирующих импульсов. Синхронизация генератора осуществляется импульсами строчной частоты.

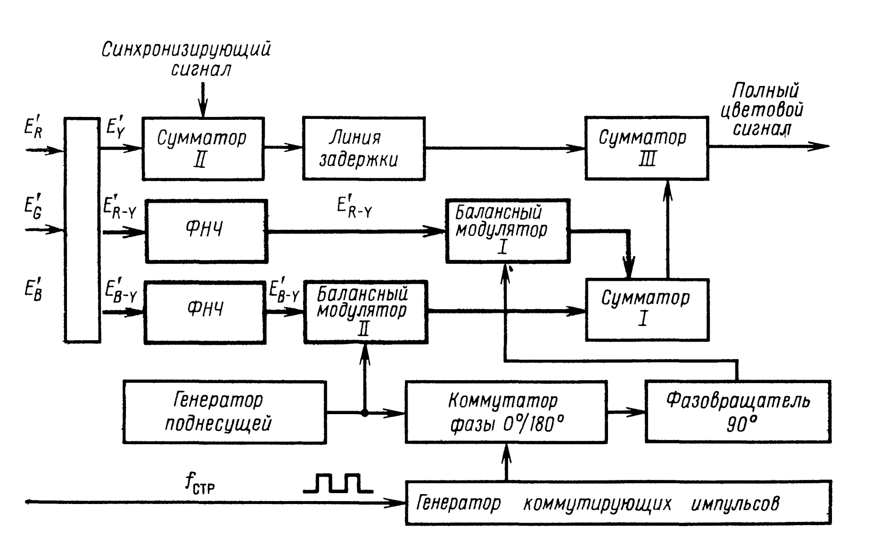


Рис. 10.4. Упрощенная структурная схема кодирующего устройства системы PAL

С выходов балансных модуляторов сигналы поступают на сумматор *I*. В сигнал яркости с помощью суммирующего устройства *II* вводится синхронизирующий сигнал. Далее следует линия задержки, обеспечивающая совпадение во времени сигналов яркости и цветности. Обычно сигналы цветности отстают от сигнала яркости, так как каналы цветности имеют значительно более узкую полосу пропускания и вносят соответственно бо́льшую задержку в сигнал. Сложение сигналов яркости и цветности осуществляется в сумматоре *III*.

Декодирующее устройство системы PAL

Упрощенная структурная схема декодирующего устройства системы PAL приведена на рис. 10.5. Полный цветовой сигнал с выхода видеодетектора поступает на полосовой фильтр. С помощью полосового фильтра выделяются сигналы цветности, передаваемые на поднесущей частоте. Выделенные сигналы

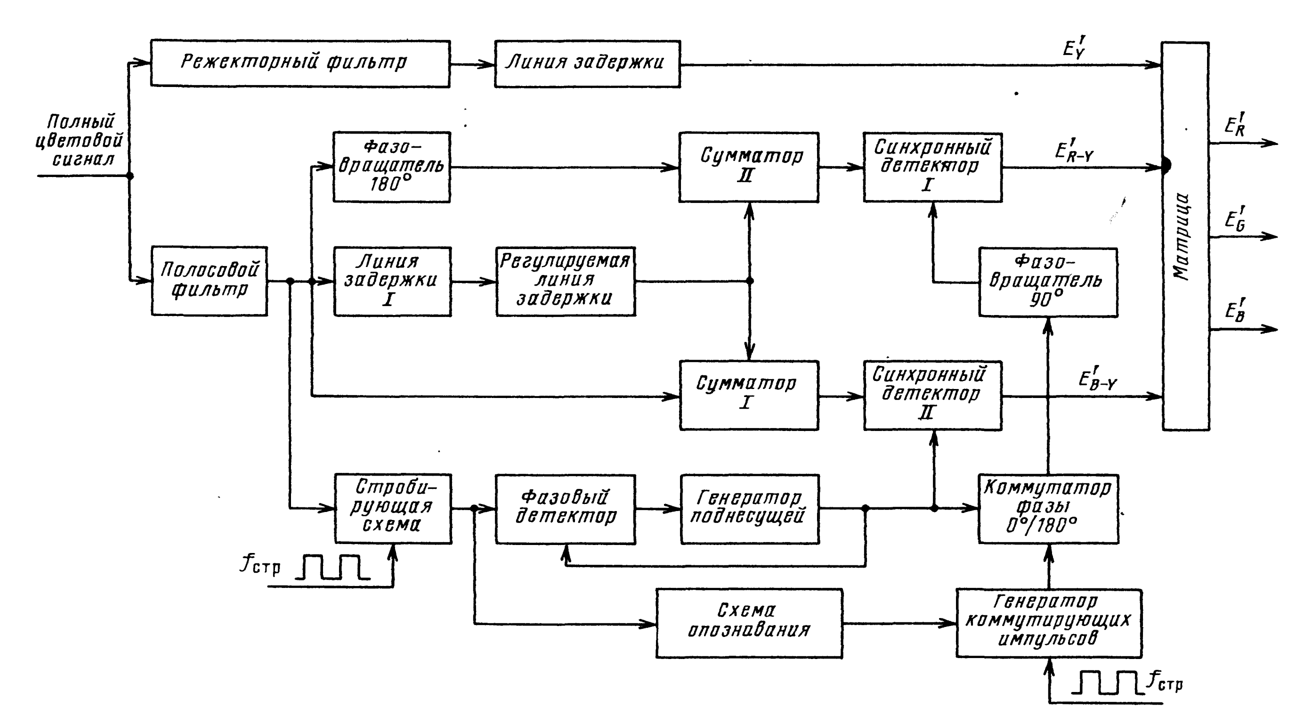


Рис. 10.5. Упрощенная структурная схема декодирующего устройства системы PAL

цветности поступают на сумматор *I* и через фазовращатель, обеспечивающий поворот фазы 180°, на сумматор *II*. Кроме того, цветовые сигналы поступают на блок задержки. Линия задержки представляет собой последовательное включение двух линий ультразвуковой (линия задержки *I*) и регулируемой линии, обеспечивающей подстройку времени задержки. Задержанные цветовые сигналы с выхода регулируемой линии задержки поступают на оба сумматора. Выделение сигналов E'_{R-Y} и E'_{B-Y} осуществляется с помощью двух синхронных детекторов. Выделение сигнала E'_{B-Y} осуществляется в синхронном детекторе *II*, на который также подается колебание опорной частоты от генератора поднесущей. На синхронный детектор *I*, с помощью которого выделяется сигнал E'_{R-Y}, опорное колебание поднесущей поступает через коммутатор фазы и фазовращатель. Фазовращатель обеспечивает сдвиг фазы опорного колебания на 90°, а с помощью коммутатора фазы осуществляется коммутация фазы на 180° от строки к строке. Коммутатор фазы управляется с помощью генератора коммутирующих импульсов. Правильная последовательность коммутации задается схемой опознавания.

Для удобства объяснения принципа действия декодирующего устройства, применяемого в приемнике системы PAL, его специфичные элементы показаны на рис. 10.6*а*. К ним относятся фазовращатель, обеспечивающий сдвиг фазы 180°, линия задержки и два сумматора. На рис. 10.6*б* представлена таблица, в которой изображены состояния сигналов в различных точках схемы. Так, первая строка таблицы показывает положения векторов, соответствующих сигналам E'_{R-Y} и E'_{B-Y} в течение развертки строки *n* в точках *А* — вход схемы, *Б* — на выходе фазовращателя, *С* — на выходе линии задержки, *Г* — на выходе сумматора Σ_{II} и *Е* — на выходе сумматора Σ_{I} При этом учитывалось суммирование сигналов обоими сумматорами. Поскольку время задержки линии равно длительности передачи одной строки, сигнал, который в течение строки *n* находился в точке *А* схемы, в течение времени передачи следующей строки $n+1$ переместится в точку *С* схемы. На таблице такой переход изображен стрелкой.

Из таблицы видно, что сигнал в точке *А* содержит две квадратурные составляющие, из которых одна (вертикальная), служащая для передачи сигнала

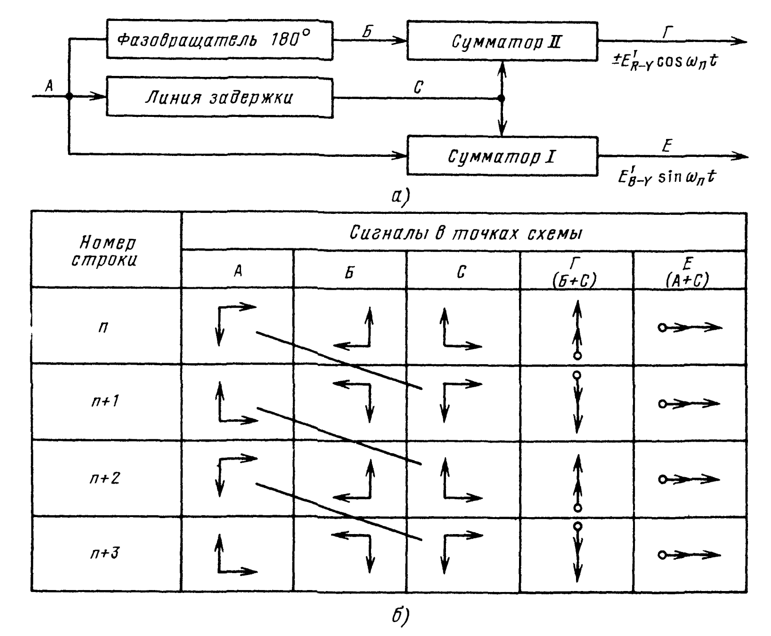


Рис 10 6. Пояснение особенностей работы декодирующего устройства системы PAL

E'_{R-Y}, меняет свою фазу на 180° от строки к строке. Суммирование сигналов сумматором Σ_{II} обеспечивает на выходе (точка *Г*) получение сигнала $\pm E_{R-Y} \cos\omega_{п} t$, фаза которого меняется от строки к строке на 180°. Суммирование сигналов, выполняемое сумматором Σ_I, позволяет получить сигнал $E'_{B-Y} \sin\omega_{п} t$, фаза которого постоянна.

Из рассмотрения рис. 10.6*б* ясно, что сигнал E'_{B-Y} можно детектировать обычным способом. При детектировании сигнала E'_{R-Y} фазу опорного колебания, подаваемого на синхронный детектор (см. рис. 10.5), следует изменять на 180° от строки к строке, что и предусмотрено в структурной схеме декодирующего устройства. Естественно, что порядок коммутации фазы должен соответствовать последовательности изменения фазы сигнала E'_{R-Y} на входе декодирующего устройства. Для этого необходимо передавать сигналы опознавания.

Основные параметры системы PAL

В системе PAL в отличие от NTSC вместо сигналов E'_Y и E'_Q принято передавать обычные цветоразностные сигналы. Однако уровни этих сигналов выбираются разными в соответствии с выражениями

$$U = 0{,}493\, E'_{B-Y}, \quad V = 0{,}877\, E'_{R-Y}. \tag{10.1}$$

В соотношениях (10.1) коэффициенты 0,493 и 0,877, указывающие, в какой пропорции передаются сигналы E'_{B-Y} и E'_{R-Y}, называются коэффициентами компрессии. Заметим, что значения этих коэффициентов такие же, как в системе NTSC. Буквами *U* и *V* в системе PAL принято обозначать цветоразностные сигналы. Цветовые модулированные сигналы (т. е. на поднесущей) принято обозначать U_U и U_V. Видеосигналы *U* и *V* передаются в полосе частот до 1,3 МГц. Изменению фазы от строки к строке подвергается сигнал U_V.

Частота цветовой поднесущей в системе PAL выбирается равной $f_{п} = 4{,}43361875$ МГц, т. е. отличной от частоты поднесущей в системе NTSC (3,579545 МГц). Во-первых, потому что система PAL используется в странах, где до введения цветного телевидения черно-белое вещание велось на основе Европейского стандарта (625 строк, 25 кадров), и поэтому частота строк и полей в системе PAL отличается от числа строк и полей системы NTSC, а соответственно должна отличаться и частота поднесущей. Во-вторых, это связано с введением в системе PAL коммутации на 180° от строки к строке сигнала U_V. Из-за коммутации фазы компенсация помех от сигналов цветности в системе PAL ниже, чем в NTSC. Это заставило разработчиков PAL отказаться от выбора поднесущей, равной нечетной гармонике полустрочной частоты, и исследовать другие варианты. Экспериментально была доказана целесообразность выбора поднесущей для системы PAL на основе соотношения

$$f_0 = (n \pm 1/4) f_{стр} + f_{к}, \tag{10.2}$$

где $f_{стр}$ — строчная частота; $f_{к}$ — кадровая. Таким образом, поднесущая PAL имеет четвертьстрочный сдвиг в отличие от системы NTSC, в которой используется полустрочный сдвиг относительно гармоник строчной частоты.

Для осуществления синхронного детектирования в системе PAL передается вспышка (пакет) сигнала поднесущей частоты, являющейся сигналом цветовой синхронизации. Осциллограмма сигнала и временные соотношения показаны на рис. 10.7. Поскольку в системе PAL необходимо менять фазу поднесущей, подаваемой на синхронный детектор сигнала U_V, на 180° от строки к строке, необходима информация о фазе переданного сигнала U_V. Эта информация содержится в сигнале цветовой синхронизации. В стандарт-

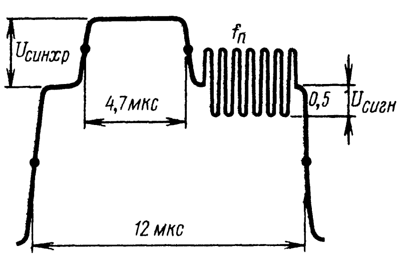


Рис. 10.7. Осциллограмма сигнала цветовой синхронизации

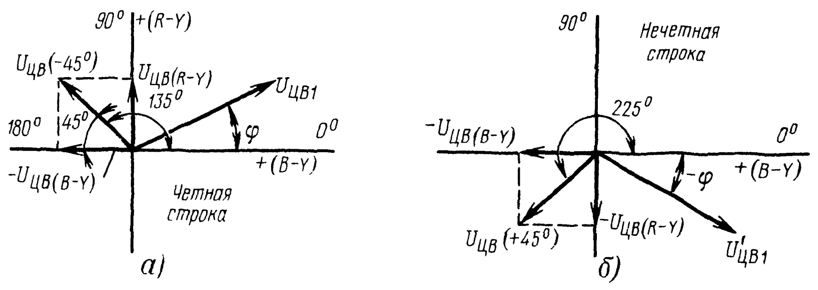


Рис. 10.8. Изображение сигнала цветовой синхронизации на векторной диаграмме

ной PAL при передаче четных строк сигнал цветовой синхронизации имеет фазу 135°, а в нечетных 235°. Положение вектора $\bar{U}_{цв}$ сигнала цветовой синхронизации при передаче четных и нечетных строк показано на рис. 10.8*а* — *б* соответственно. Как видно из рис. 10.8, при передаче четной строки вектор $U_{цв}$ составляет угол 135°, отсчитываемый против часовой стрелки от положительного направления оси *B—Y*, в нечетной строке он равен 225°. При изменении фазы сигнала U_V на 180° фаза вспышки изменяется на 225 – 135 = 90°. Можно считать, что изменение фазы вспышки от строки к строке составляет ±45° относительно среднего значения, равного 180°.

Восстановление поднесущей в приемнике системы PAL и работа схемы опознавания цвета

В декодирующем устройстве системы PAL осуществляется восстановление поднесущей и выделение сигнала цветовой синхронизации. Схема декодирующего устройства обеспечивает методом стробирования выделение сигнала цветовой синхронизации, который затем используется для подстройки частоты поднесущей и формирования коммутирующих импульсов.

Структурная схема, поясняющая процессы формирования поднесущей в приемнике, представлена на рис. 10.9, а осциллограммы напряжений в отдельных точках — на рис. 10.10. Импульсы строчной синхронизации с частотой

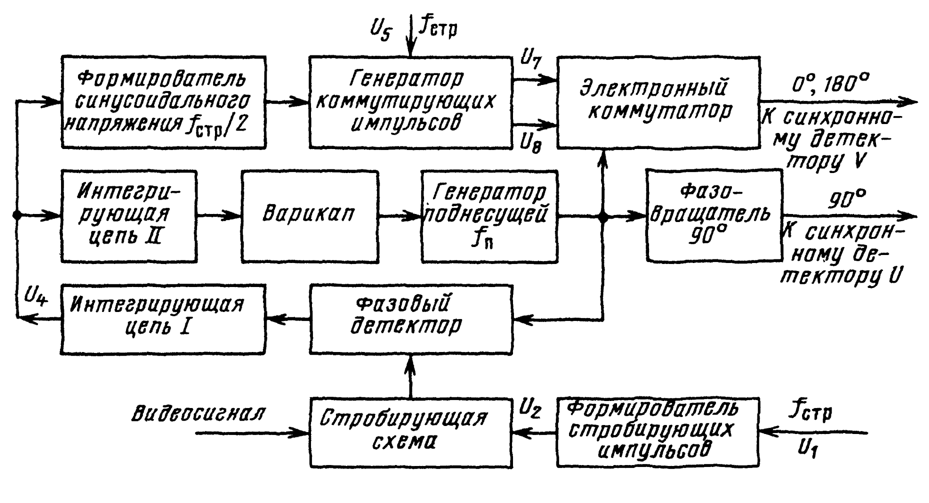


Рис. 10.9. Структурная схема блока цветности системы PAL

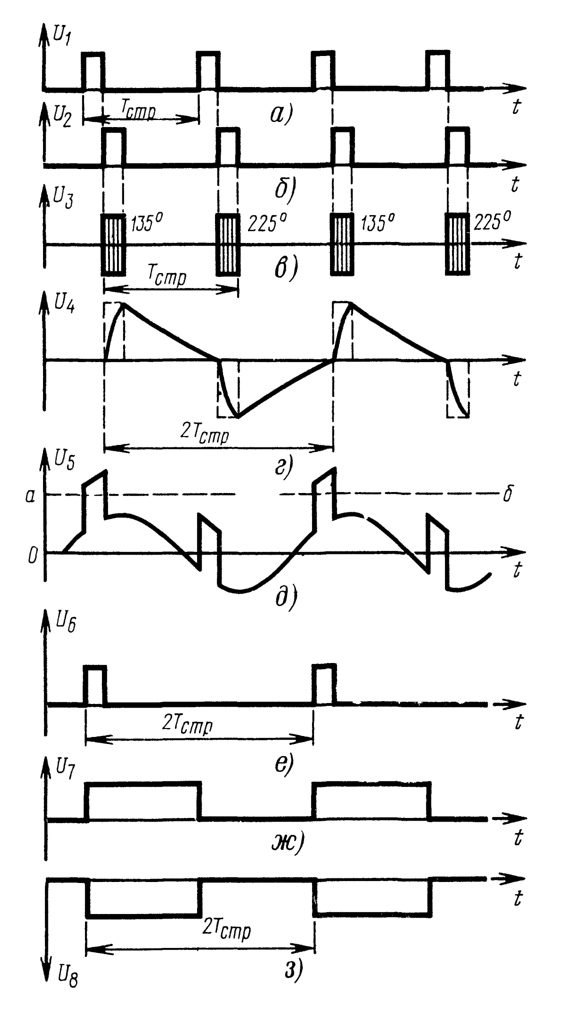


Рис. 10.10. Осциллограммы напряжений в характерных точках блока цветности приемника PAL:
а — строчные синхронизирующие импульсы; *б* — стробирующие импульсы; *в* — выделенные вспышки сигнала цветовой синхронизации; *г* — напряжение на выходе первого интегрирующего звена; *д* — напряжение, действующее на входе порогового устройства; *ж* — выделенные импульсы полустрочной частоты; *з*, *и* — коммутирующие импульсы

$f_{стр}$ поступают на формирователь стробирующих импульсов (рис. 10.9). Из строчных синхроимпульсов в этом формирователе вырабатываются стробирующие импульсы прямоугольной формы, совпадающие во времени с пакетом поднесущей. Временное положение исходных синхронизирующих и стробирующих импульсов показано на рис. 10.10*а* и *б*. Напряжение U_2 управляет стробирующей схемой, на выходе которой выделяются пакеты сигнала цветовой синхронизации U_3 (рис. 10.10*в*). Напряжение U_3 поступает на фазовый детектор, на который подается также напряжение от генератора поднесущей. В результате детектирования образуются разнополярные импульсы прямоугольной формы, показанные на рис. 10.10*г* штриховой линией. На том же рисунке показано напряжение на выходе первой интегрирующей цепи. Пилообразные импульсы используются от формирования синусоидального напряжения с периодом $2T_{стр}$. С выхода формирователя синусоидальное напряжение подается на генератор коммутирующих импульсов, на который также поступают строчные синхроимпульсы. Осциллограмма суммарного напряжения показана на рис. 10.10*д*. В генераторе коммутирующих импульсов с помощью триггера, порог срабатывания которого установлен на уровне *аб*, осуществляется выделение

каждого второго импульса. Полученные импульсы с периодом следования $2T_{стр}$ используются для формирования разнополярных коммутирующих импульсов с тем же периодом следования (рис. 10.10*з*, *и*). С помощью сформированных импульсов U_7 и U_8 осуществляется переключение электронного коммутатора. Пилообразное напряжение U_4 используется для фазовой автоматической подстройки генератора поднесущей. Изменение фазы генератора поднесущей осуществляется с помощью варикапа, управляемого напряжением с выхода второй интегрирующей цепи. Постоянная времени этой цепи достаточно большая, в результате чего на ее выходе действует постоянное напряжение.

Особенностью работы схемы автоматической подстройки фазы является наличие фазовых скачков в пакетах поднесущей на ±45° от строки к строке относительно среднего значения фазы 180°. Благодаря значительной инерционности (полоса частот петли автоподстройки не превышает 100 Гц) схема не реагирует на фазовые скачки вспышки и осуществляет настройку на среднее значение фазы, т. е. на опорную фазу 180°.

Для правильной фазы работы коммутатора фазы поднесущей в декодирующем устройстве используется схема опознавания. Напряжение сигнала цветовой синхронизации поступает на схему опознавания со стробирующей схемы. Выделение сигнала, управляющего работой генератора коммутирующих импульсов, осуществляется с помощью фазового детектора.

Особенности работы линии задержки в приемнике PAL

Технические требования к характеристикам ультразвуковой линии задержки в системе PAL существенно отличаются от соответствующих технических требований в системе SECAM. Основной особенностью декодирующего устройства системы PAL является сложение сигналов до синхронного детектора. Этот процесс должен осуществляться с соблюдением фазовых соотношений между складываемыми сигналами (напомним, что в PAL так же, как в NTSC, информация о цветности заложена в фазе результирующего вектора). Для удовлетворения данного условия необходимо весьма точное изготовление линии задержки, обеспечивающее задержку на строго определенное время и весьма малое изменение времени задержки под влиянием различных дестабилизирующих факторов.

В системе PAL принято настраивать линию задержки на $\tau_{зад}=63{,}94325$ мкс, что соответствует 283,5 периодам колебаний цветовой поднесущей с частотой $f_п=4{,}43361875$ МГц. Такой выбор времени задержки обеспечивает соблюдение необходимых фазовых соотношений между сигналами, поступающими на суммирующие устройства. Требуемая стабильность линии задержки определяется из следующих соображений. Допустимая фазовая ошибка при синхронном детектировании сигналов в приемнике PAL $\beta=\pm 24°$ (0,42 рад). Фазовый угол β на частоте $f_п$ соответствует временной ошибке $\Delta\tau=\beta/\omega_п=\pm 0{,}42/(2\pi\cdot 4{,}43\cdot 10^6)=$ $=\pm 15$ нс.

Таким образом, время задержки линии при исходной точной настройке не должно изменяться более чем на ±15 нс. Обычно телевизионные приемники проектируются с учетом возможной работы в интервале температур от −10 до +70°С. Если линия настроена при температуре +25°, то возможные границы изменения температуры составят −35 и +45° относительно исходного значения. Отсюда допустимое изменение времени задержки на 1° составит $15/45=$ $=0{,}33$ нс, а температурный коэффициент задержки, равный отношению допустимого изменения времени задержки к ее номинальному значению, $0{,}33/(63{,}94325\cdot 10^3)=1{,}5\cdot 10^{-6}$.

При изготовлении установлена допустимая погрешность времени задержки ±5 нс. Для сравнения отметим, что в системе SECAM допускается неточность изготовления линии задержки 50—100 нс.

Особенности конструкции линии задержки в приемнике PAL заключаются в применении стеклянного звукопровода, обладающего значительно большей стабильностью параметров по сравнению с металлом. Добавка в химический состав стекла некоторых веществ приводит к увеличению скорости распространения ультразвуковых колебаний при увеличении температуры. Это компенсирует уве-

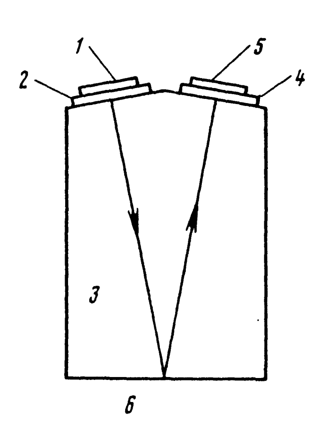


Рис. 10.11. Конструкция ультразвуковой линии задержки

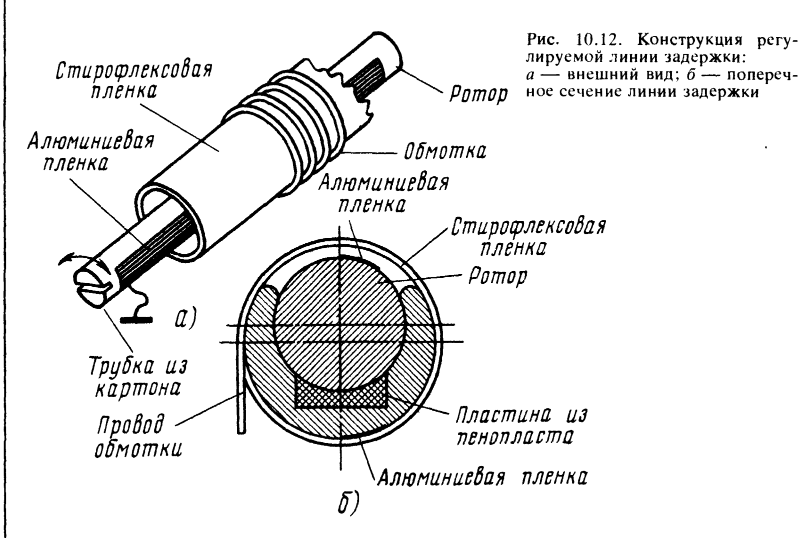


Рис. 10.12. Конструкция регулируемой линии задержки:
а — внешний вид; *б* — поперечное сечение линии задержки

Рис. 10.13. Зависимость фазового сдвига от угла поворота ротора регулируемой линии задержки

личение времени задержки, которое имеет место при увеличении температуры из-за изменения геометрических размеров. Температурный коэффициент задержки для линии со стеклянным звукопроводом составляет $1{,}5\cdot10^{-6}$.

Один из вариантов конструкции линии задержки для приемника представлен на рис. 10.11. Пьезоэлектрические преобразователи *1* и *5* укреплены на верхних площадках звукопровода *3*, расположенных под углом 8° к отражающей грани *6*. Между пьезоэлектрическими преобразователями и звукопроводом расположены промежуточные слои *2* и *4*. Направление распространения ультразвуковых волн показано на рис. 10.11 стрелками. В качестве промежуточных слоев могут применяться различные материалы, способные обеспечивать хороший акустический контакт и прочное механическое соединение преобразователя и звукопровода. Таким материалом является, например, эпоксидный клей.

Рассмотренная конструкция линии задержки имеет преимущества по сравнению с обычной стержневой конструкцией, поскольку позволяет осуществлять настройку линии путем стачивания отражающей грани.

Другим вариантом построения блока задержки является использование обычной стеклянной линии, включенной последовательно с регулируемой линией задержки. В этом случае основная ультразвуковая линия изготовляется на время $\tau_{зад}$, несколько меньшее, чем принято в системе PAL, а с помощью регулируемой линии, включенной последовательно, осуществляется точная настройка всего блока.

Конструкция регулируемой линии задержки представлена на рис. 10.12. Обмотка выполнена на трубке, изготовленной из стирофлексовой пленки. Внутри расположен ротор — стержень из картона с нанесенной на его поверхности тонкой алюминиевой пленкой. Алюминиевая пленка нанесена также на внутренней части большого цилиндра, как показано на рис. 10.12*б*, где изображено поперечное сечение линии. При повороте ротора изменяется взаимное положение алюминиевых покрытий, что приводит к изменению времени задержки и соответственно к изменению фазового сдвига выходного напряжения сигнала относительно входного. Зависимость фазового сдвига $\Delta\varphi°$, вносимого регулируемой линией такого типа, от угла поворота ротора α представлена на рис. 10.13. Как видно из рисунка, при повороте ротора фазовый сдвиг регулируется в пределах от 240 до 320°, что обеспечивает необходимую корректировку общего времени задержки.

Глава одиннадцатая. ИЗМЕРЕНИЯ В ЦВЕТНОМ ТЕЛЕВИДЕНИИ

Особенности телевизионных измерений

К телевизионным измерениям относят измерения световых и электрических параметров телевизионной аппаратуры. Имеются такие виды измерений, которые характерны только для телевидения и легко выделяются в отдельную категорию. К ним следует отнести измерения геометрических параметров растра, градационных характеристик тракта, световых характеристик кинескопов и т. п. Однако имеются и такие виды измерений, которые имеют много общего с обычными радиотехническими измерениями. Например, измерение АЧХ электронных устройств в телевидении осуществляется с помощью приборов, принцип действия которых практически ничем не отличается от принципа действия обычных ИЧХ. Однако телевизионные ИЧХ работают в характерном для телевидения диапазоне частот и, кроме того, вводят гасящие импульсы в изменяющийся по частоте измерительный сигнал. Введение гасящих импульсов совершенно необходимо для измерения АЧХ устройств, содержащих схему фиксации уровня.

К такой же категории следует отнести телевизионные осциллографы, которые по принципу действия ничем не отличаются от обычных, однако максимально приспособлены к индикации телевизионных сигналов.

Важной особенностью телевизионных измерений является широкое применение устройств, выполняющих функцию контроля соответствия проверяемого

сигнала, параметра или характеристики с зоной заданных допусков. Широкое применение аппаратуры контроля объясняется необходимостью оперативной проверки правильности работы телевизионного тракта во время передачи, когда нет достаточно времени для проведения точных измерений. В результате контроля вырабатываются некоторые заключения, например: «в норме» — «не в норме», «больше» — «меньше» и т. п. Спецификой телевизионных измерений является отсутствие возможности инструментальной оценки некоторых параметров телевизионных изображений в реальных условиях. Так, четкость изображения на экране телевизора обычно определяют, прибегая к визуальной оценке различимости тонких штрихов, содержащихся в испытательной телевизионной таблице. Испытательные таблицы при оценке ряда параметров изображения выполняют фактически контрольные функции. При рассмотрении измерения в цветном телевидении будем касаться прежде всего тех методов измерения и контроля, которые характерны для цветного телевидения. К ним следует отнести: а) контроль и измерение параметров сигналов цветного телевидения; б) измерение точности совмещения растров в передающих и приемных устройствах; в) измерение дифференциальных искажений; г) измерение различия усиления и расхождения во времени сигналов яркости и цветности; д) контроль качественных показателей трактов цветного телевидения в процессе передачи; е) измерение параметров тракта цветного телевидения с помощью испытательных сигналов и таблиц.

Контроль и измерение параметров видеосигналов

Нормальная работа аппаратуры телевизионного тракта возможна лишь при поддержании в пределах допусков (заданных ГОСТом) основных уровней в полном сигнале. К таким характерным уровням относятся: полный размах сигнала, соотношение размахов гасящих и синхронизирующих импульсов, размахи сигналов цветовой поднесущей и цветовой синхронизации и т. п. Для детального исследования форм видеосигналов, измерения уровней и временных соотношений используются специальные осциллографы.

Телевизионным осциллографом такого типа является прибор С1-57. Особенностью телевизионных осциллографов является наличие в нем так называемого блока выделения строки. Необходимость такого узла в телевизоре объясняется спецификой телевизионных сигналов. Как известно, сигнал неподвижного изображения представляет собой функцию, повторяющуюся с частотой кадров. Кроме того, отдельные компоненты сигнала повторяются со строчной частотой. При наблюдении осциллограммы период развертки луча осциллографа должен быть равен (или больше в целое число раз) периоду сигнала. При наблюдении осциллограммы видеосигнала можно установить период развертки осциллографа равным либо периоду строчной развертки, либо длительности кадра. В обоих случаях осциллограмма будет неподвижной. Однако проведение измерений в обоих случаях затруднительно. Если установить период развертки осциллографа равным длительности кадра, то на одной осциллограмме будет представлен телевизионный сигнал всех 625 строк с гасящими импульсами и сигналом синхронизации. Если применить осциллограф с диаметром экрана ЭЛТ, равным 20 см, то на долю одной строки придется примерно 0,3 мм, что, конечно, совершенно недостаточно для измерительных целей. Если же установить период развертки осциллографа равным периоду строчной развертки, осциллограмма каждой строки изображения займет всю длину экрана. Однако наблюдатель увидит на экране осциллограммы всех 625 строк, наложенных друг на друга, как это показано на рис. 11.1.

При наложении совпали лишь осциллограммы гасящих и синхронизирующих импульсов (точки *а, б*), которые одинаковы для всех строк сигнала, участок *б* — *с* содержит смесь осциллограмм и выглядит на экране как светящаяся полоска. Такая осциллограмма позволяет судить об общем размахе видеосигнала, величинах гасящих и синхронизирующих импульсов. В черно-белом телевидении иногда этого бывает достаточно.

В цветном телевидении подобные осциллограммы пригодны для контроля за первичными сигналами E_R, E_G и E_B, структура которых практически не отличается от структуры сигнала E_Y. При контроле полного цветового сигнала колеба-

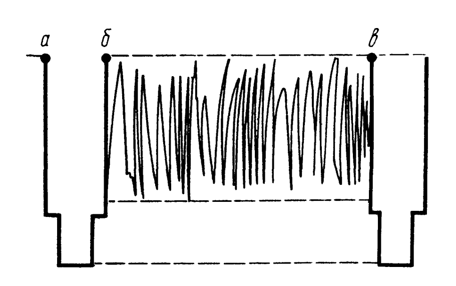


Рис. 11.1. Изображение на экране обычного осциллографа при длительности развертки, равной длительности передачи строки изображения

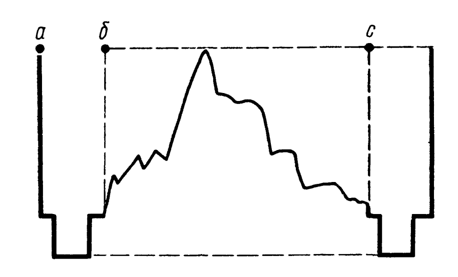


Рис. 11.2. Изображение осциллограммы отдельной строки

ния поднесущей частоты на осциллограмме будут неразличимы. По этой причине в телевизионных осциллографах имеется блок выделения сигнала отдельной строки.

Принцип воспроизведения осциллограммы сигнала отдельной строки достаточно прост. На вход *Y* канала вертикального отклонения подается телевизионный сигнал. Устанавливается ждущий режим развертки. Запуск развертки осуществляется специальным импульсом, появляющимся в тот момент, когда начинает передаваться сигнал выделяемой строки. В результате на экране воспроизводится сигнал одной строки (рис. 11.2).

Запускающий импульс вырабатывается в блоке выделения строки (БВС), структурная схема которого представлена на рис. 11.3. Полный видеосигнал поступает на вход селектора синхроимпульсов. Далее из выделенных импульсов синхронизации формируются прямоугольные импульсы строчной и кадровой частоты. В счетно-фазирующем устройстве осуществляется «счет» импульсов строчной частоты. По окончании счета на выходе схемы образуется импульс, временно́е положение которого совпадает с началом выбранной строки. Установка номера выбранной строки осуществляется с помощью органов управления, выведенных на лицевую панель осциллографа. При необходимости сформированный импульс может задерживаться в пределах строки с помощью схемы задержки, включенной последовательно со счетно-фазирующим устройством. При этом обеспечивается воспроизведение на экране фрагмента сигнала строки. В БВС имеется также возможность выбора поля. Для этого предусмотрена схема выбора импульсов полей. На выходах *1* и *2* этого узла образуются импульсы, совпадающие во времени соответственно с интервалами передачи четных и нечетных полей. Через переключатель эти импульсы поступают на счетно-фазирующее устройство и управляют его работой. В положении переключателя *3* обеспечивается прохождение

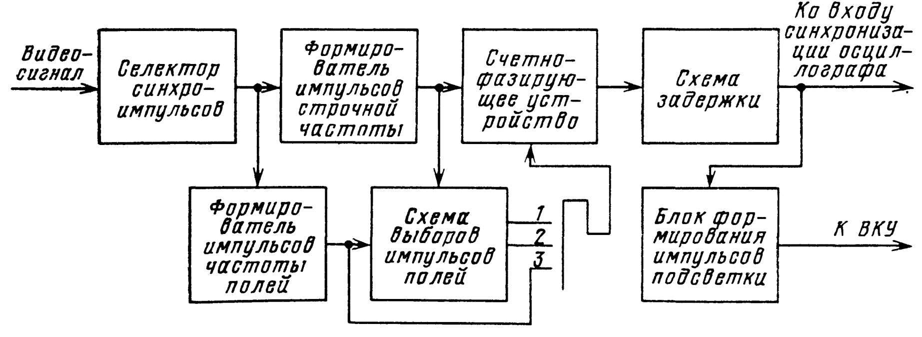


Рис. 11.3. Структурная схема блока выделения строки телевизионного осциллографа

на счетно-фазирующее устройство импульсов с частотой полей. При этом на экране осциллографа удается получить наложение осциллограммы двух соседних строк.

Для индикации положения выделенной строки формируются импульсы подсвета, которые могут быть введены в ВКУ. При этом выбранная строка имеет яркость, отличающуюся от яркости остальных строк телевизионного изображения.

Для измерения параметров сигнала цветности (амплитуды, частоты, девиации частоты) используют осциллографическое устройство, носящее название «секамоскоп». В приборе предусмотрена возможность измерения девиации частоты поднесущей в полосе частот от 3,8 до 4,8 МГц. Отсчет девиации частоты производится от двух значений — 4,40625 и 4,25 МГц, соответствующих номинальным значениям частот двух поднесущих.

Структурная схема прибора приведена на рис. 11.4. Полный видеосигнал подается на один из входов электронного коммутатора и на селектор синхроимпульсов. Выделенные синхроимпульсы управляют работой блока развертки, обеспечивающего горизонтальную развертку луча осциллографической трубки. Напряжение пилообразной формы, сформированное в блоке развертки, усиливается усилителем *X*. При верхнем положении переключателя электронного коммутатора видеосигнал поступает на полосовой фильтр, выделяющий сигнал цветности, и далее проходит следующие цепи: схему коррекции высокочастотных предыскажений, амплитудный ограничитель, частотный детектор, схему коррекции низкочастотных предыскажений. С помощью переключателя $П_1$ через усилитель *У* сигналы подаются на вертикальные отклоняющие пластины осциллографа.

Осциллограф позволяет наблюдать шесть сигналов: а) полный сигнал цветности с ВЧ и НЧ предыскажениями; б) сигнал цветности со скорректированными ВЧ предыскажениями; в) цветоразностный сигнал с выхода частотного детектора; г) цветоразностный сигнал со скорректированными НЧ предыскажениями; д) полный видеосигнал (сумму сигналов цветности и яркости); е) сигнал яркости.

Сигнал яркости поступает на контакт *6* переключателя $П_1$ с фильтра нижних частот.

При измерении девиации частоты и амплитуд составляющих сигналов цветности горизонтальная развертка луча трубки осуществляется напряжением, поступающим с выхода частотного детектора. В этом случае ключ K_2 устанавливается в положение *2*. Если при этом на вход усилителя *У* подаются сигналы с выхода полосового фильтра, то огибающая осциллограммы сигнала цветности имеет вид кривой ВЧ предыскажений в области поднесущих.

Отсчет девиации осуществляется с помощью специальных меток частоты. Эти метки формируются из синусоидального напряжения кварцевого генератора эталонных частот. Опорные частоты поступают от генератора на вход *2* электронного коммутатора. Электронный коммутатор поочередно подает на вход полосового фильтра сигналы цветности и колебания эталонной частоты. На экране осциллографа из-за инерционности зрения и достаточно высокой длительности послесвечения люминофора наблюдатель видит осциллограмму видеосигнала с наложенными частотными метками. Управление электронным коммутатором осуществляется сигналом, сформированным генератором коммутирующих импульсов из импульсов строчной синхронизации.

Кварцевый генератор вырабатывает колебания следующих эталонных частот: 3900 кГц — соответствует минимальному значению частоты поднесущей при передаче сигнала D'_B; 4020 кГц — соответствует номинальной девиации поднесущей (сигнал D'_B) при передаче измерительного сигнала желтой полосы с насыщенностью 75%; 4250 кГц — центральная частота поднесущей при передаче сигнала D'_B; 4406,25 кГц — центральная частота поднесущей при передаче сигнала D'_R; 4686,25 кГц соответствует номинальной девиации поднесущей (сигнал D'_R) при передаче испытательного сигнала голубой полосы с насыщенностью 75%; 4756,25 кГц — максимальное значение частоты поднесущей при передаче сигнала D'_R.

При использовании прибора в качестве широкополосного осциллографа горизонтальная развертка осуществляется сигналами, сформированными блоком развертки. Калибровка усиления вертикальной развертки осуществляется с помощью калибратора, подключаемого ко входу усилителя ключом K_1.

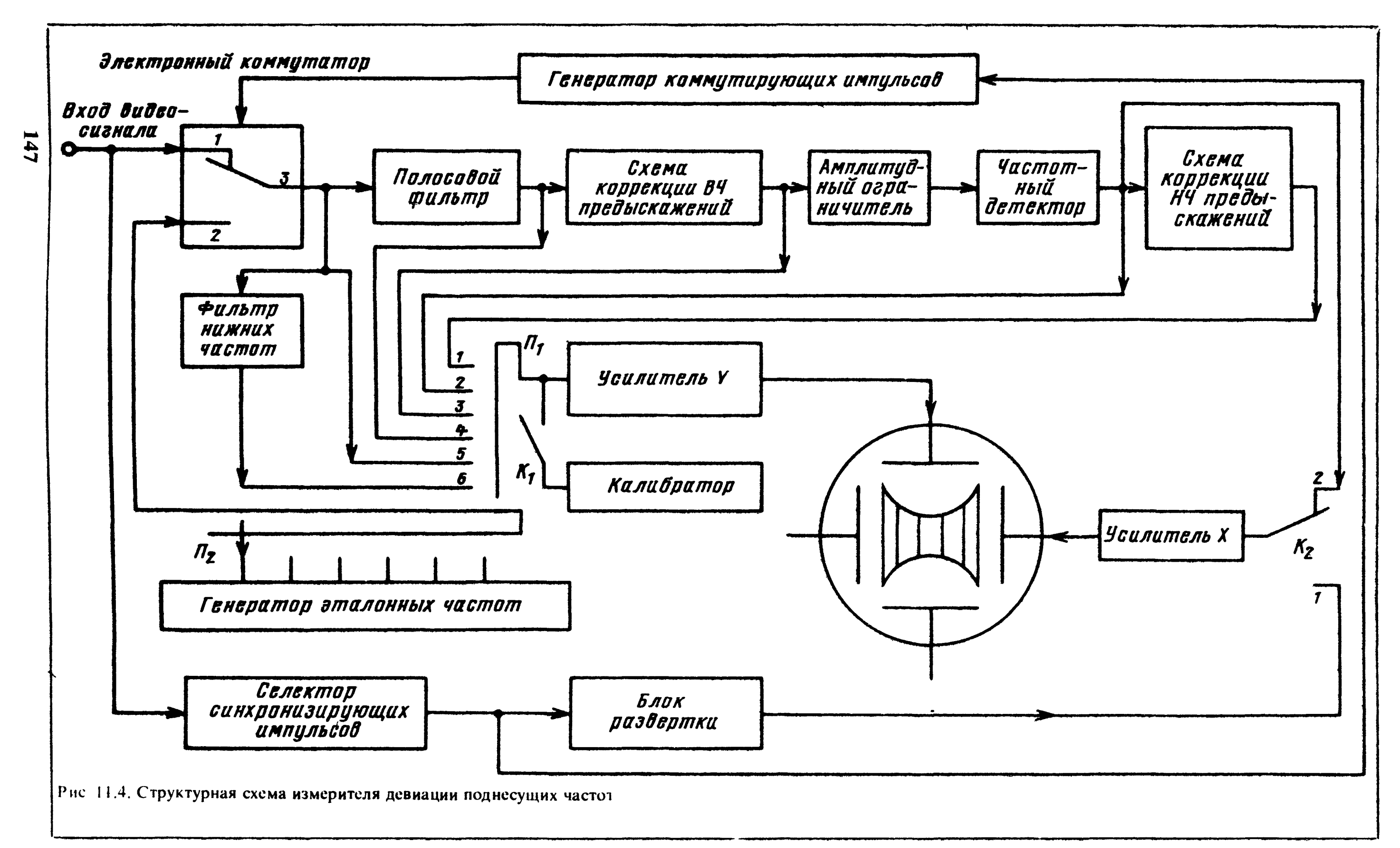


Рис 11.4. Структурная схема измерителя девиации поднесущих частот

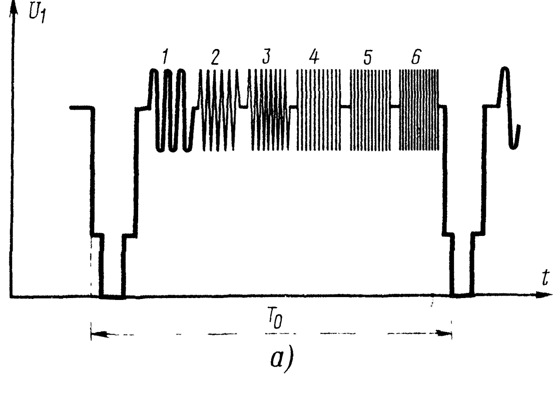
Измерение частотных характеристик видеоканала

Под видеоканалом цветного телевидения обычно понимается участок тракта передачи между выходами передающих трубок и входом модуляционного устройства телевизионного радиопередатчика. Видеоканал включает видеоусилители аппаратных, кодирующие устройства, соединительные линии и т. п.

При применении трехтрубочной камеры типа *RGB* к участку видеоканала от выходов передающих трубок до входов кодирующего устройства предъявляются высокие технические требования к форме АЧХ. При применении четырехтрубочных камер высокие требования к АЧХ предъявляются лишь к тому участку видеоканала, по которому передается сигнал E_Y, а требования к участкам передачи первичных сигналов E_R, E_G, E_B могут быть значительно снижены. Аналогично могут быть снижены требования к форме АЧХ участков видеотракта, по которым передаются цветоразностные сигналы.

Амплитудно-частотные характеристики участков видеоканала, по которым передается полный видеосигнал цветного телевидения, должны удовлетворять более жестким требованиям, поскольку необходимо обеспечить передачу без искажений суммы сигналов (яркости и цветности) при широком спектре сигнала яркости. Кроме того, необходимо обеспечить минимальное различие в усилении сигналов яркости и цветности.

Измерять АЧХ можно с помощью обычных измерителей АЧХ (ИАЧХ), работающих в нужном частотном диапазоне. Однако обычные ИАЧХ позволяют проводить измерения на тех участках видеоканала, которые не содержат схем восстановления постоянной составляющей. Если же такие схемы имеются, то для правильной работы схемы фиксации необходимо сформировать полный телевизионный сигнал, т. е. включить в его состав гасящие импульсы частоты строк и кадров. Для измерения АЧХ в области верхних частот созданы генераторы, позволяющие определить частотные характеристики телевизионных схем любых типов. На рис. 11.5*а* показан испытательный сигнал, состоящий из шести пакетов синусо-



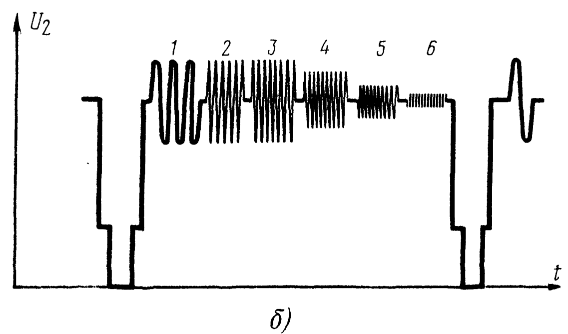


Рис. 11.5. Испытательный сигнал для измерения амплитудно-частотных искажений: *а* — сигнал на входе измеряемого устройства; *б* — сигнал на выходе

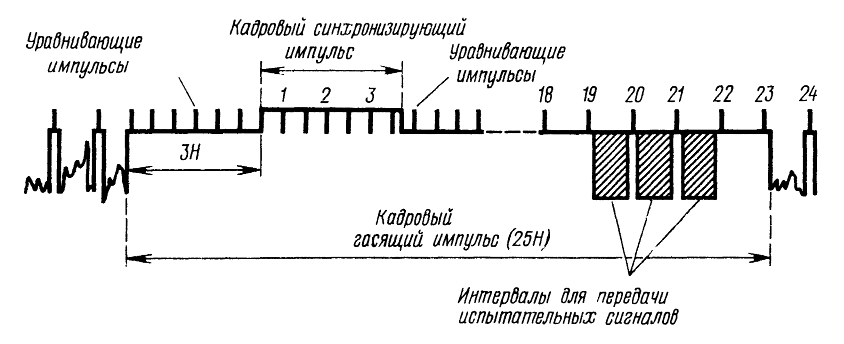


Рис. 11.6. Размещение испытательных сигналов в интервале кадрового гасящего импульса (H — длительность передачи одной строки)

идальных колебаний разных частот, обычно выбираемых в пределах от 0,5 до 6 МГц. Длительность испытательного сигнала не должна превышать активной части строки. После прохождения через исследуемое устройство испытательный сигнал приобретает вид, показанный на рис. 11.5*б*. По амплитуде его отдельных составляющих оценивается величина искажений на шести фиксированных частотах.

Достоинством рассмотренного испытательного сигнала является возможность его применения для контроля любых элементов телевизионного оборудования, а также каналов связи, причем этот контроль может быть произведен во время телевизионной передачи. Длительность кадрового гасящего импульса составляет 25 строк, причем интервал трех строк отводится на передачу кадрового синхронизирующего импульса. Такой же интервал отводится на передачу уравнивающих импульсов (рис. 11.6). После окончания задних уравнивающих импульсов на кадровом гасящем импульсе располагается группа строчных синхронизирующих импульсов. В этом интервале времени между строчными синхронизирующими импульсами могут быть размещены испытательные сигналы.

На рис. 11.6 участки между 19-м и 22-м строчными синхронизирующими импульсами, на которых могут быть размещены испытательные сигналы, отмечены штриховкой. Международный консультативный комитет по радио (МККР) рекомендует такое расположение испытательных сигналов для контроля внутренних линий связи (внутри страны). Измерительные сигналы, принятые на международных линиях, передаются в течение 17-й и 18-й строк. При передаче четного поля испытательные сигналы занимают строки 330—334 растра. Во время передачи испытательных сигналов луч кинескопа погашен (при помощи кадрового гасящего импульса), поэтому помех приему изображения не создается. Не оказывают влияния испытательные сигналы и на качество синхронизации, поскольку они размещаются между уровнями белого и черного.

Измерение импульсных (временных) характеристик видеоканала

Переходные характеристики измеряют при помощи генератора прямоугольных импульсов. Импульсы подаются на вход измеряемой аппаратуры. Выходное напряжение контролируется осциллографом. На экране наблюдают форму импульсов и измеряют вносимые искажения. При измерении длительности фронта импульса используются временные метки. Генератор меток представляет собой высокостабильный генератор синусоидального напряжения. Напряжение этого генератора поступает на модулирующий электрод электронно-лучевой трубки. Положительная полуволна синусоиды увеличивает интенсивность свечения экрана, а отрицательная — уменьшает. При достаточно большой амплитуде калибровочного напряжения осциллограмма изображается на экране штриховой линией (рис. 11.7). Для определения длительности фронта нарастания

достаточно подсчитать количество черных и белых штрихов между точками *а* и *б* осциллограммы и умножить на период калибровочного напряжения. За длительность фронта импульса принимается время, в течение которого напряжение нарастает от 0,1 до 0,9 своего максимального значения.

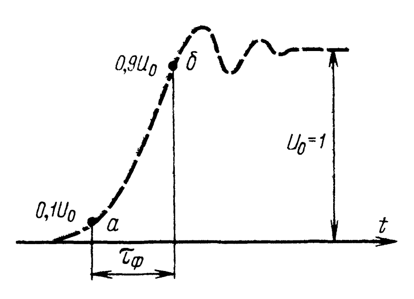


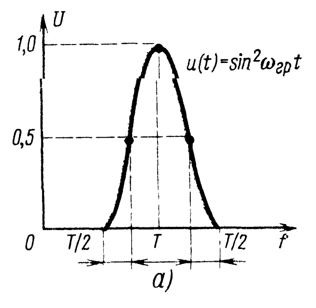
Рис. 11.7. Сигнал для измерения временных характеристик

При проведении измерений следует учитывать, что измеренное значение длительности фронта определяется свойствами не только видеоканала, но и осциллографа. Канал вертикального отклонения осциллографа имеет длительность фронта нарастания переходной характеристики, равную τ_0. Длительность фронта переходной характеристики проверяемого канала $\tau_ф$ можно определить точнее, если воспользоваться соотношением $\tau_ф=\sqrt{\tau_э^2-\tau_0^2}$, где $\tau_э$ — длительность фронта осциллограммы на экране. Отношение $\tau_0/\tau_ф$ характеризует погрешность измерения. Если $\tau_0<0{,}2\tau_ф$, то ошибка, вносимая приборами, будет немногим больше 3% и ею можно пренебречь.

При измерениях переходной характеристики видеоканала, предназначенного для усиления яркостного сигнала и полного цветового сигнала, имеющих длительность фронта $\tau_ф\approx 7{,}7\cdot 10^{-8}$ с (длительность одного элемента разложения), необходимо применять осциллограф с $\tau_0\approx 2\cdot 10^{-8}$ с.

Если исследуемая схема содержит фиксирующую цепь, испытательный сигнал должен содержать гасящие импульсы, так же как при измерении частотной характеристики. Однако оценка качества передачи высокочастотной части спектра телевизионного сигнала с помощью прямоугольных импульсов не всегда приводит к желаемым результатам. Дело в том, что аппаратура, предназначенная для передачи телевизионных сигналов, имеет ограниченную полосу пропускания, т. е. ее частотная характеристика эквивалентна частотной характеристике ФНЧ. Испытательные импульсы прямоугольной формы имеют спектр частот, выходящий за верхнюю границу полосы пропускания канала. Поэтому форма осциллограммы будет иметь искажения, вызванные ограничением спектра испытательного сигнала, в то время как менее широкополосный телевизионный сигнал пройдет канал связи без искажений. Неудобство измерений с помощью испытательного сигнала прямоугольной формы заключается еще и в том, что при наличии искажений плоской вершины трудно фиксировать положение уровней $0{,}1U_0$ и $0{,}9U_0$, между которыми отсчитывается время нарастания фронта. Поэтому для измерения характеристик канала часто применяется так называемый синус-квадратичный импульс. Синус-квадратичный импульс описывается выражением $u(t)=U\sin^2\omega_{гр}t$. График этой функции при $U=1$ показан на рис. 11.8*а*, а спектр импульса — на рис. 11.8*б*.

Как видно из рис. 11.8*б*, относительная амплитуда спектральных составляющих оказывается равной нулю при $fT=1$, и основная часть энергии спектра приходится на участок от 0 до $fT=1$. Это свойство спектра синус-квадратичного



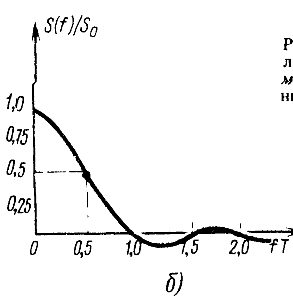
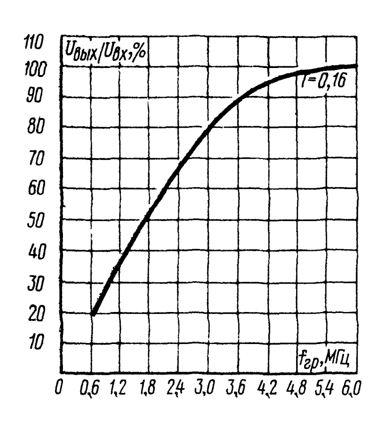


Рис. 11.8. Измерения в телевизионном канале с помощью синус-квадратичных импульсов



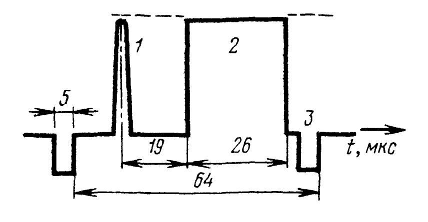


Рис. 11.10. Осциллограмма испытательного сигнала

Рис. 11.9. Зависимость относительного выходного напряжения синус-квадратичного импульса от граничной частоты телевизионного канала

импульса обусловливает удобства его применения для измерения. Действительно, допустим, что синус-квадратичный импульс подается на устройство, имеющее граничную частоту пропускания $f_{max}=\omega_{гр}/2\pi=6{,}5$ МГц. Всегда можно подобрать длительность импульса T (рис. 11.8*а*) такой, чтобы его спектральные компоненты не выходили за пределы f_{max}. В рассматриваемом случае $T=1/f_{max}=$ $=1/6{,}5\cdot10^{-6}=0{,}154$ мкс. При прохождении импульсов вычисленной длительности через устройство с частотной характеристикой, равномерной до граничной частоты 6,5 МГц, не возникает искажений спектра и, следовательно, форма импульса практически остается неизменной. Если же полоса пропускания устройства окажется менее 6,5 МГц, то произойдет потеря высокочастотных компонент спектра и напряжение импульса на выходе уменьшится.

На рис. 11.9 показано изменение напряжения синус-квадратичного импульса длительностью 0,154 мс на выходе устройства в зависимости от граничной частоты f_{max} его АЧХ. По вертикальной оси отложено отношение между амплитудами импульса на выходе и входе устройства. Как видно из графика, увеличение граничной частоты от 0,6 до 3,5 МГц вызывает практически пропорциональное увеличение амплитуды выходного импульса. Таким образом, по изменению величины испытательного синус-квадратичного импульса можно судить о частотной характеристике устройства. На практике обычно применяются импульсы длительностью 0,16—0,17 мкс, позволяющие оценивать частотные искажения в области 3 и 6 МГц.

Для измерения степени уменьшения амплитуды синус-квадратичного импульса при прохождении через усилительное устройство или канал связи целесообразно одновременно с ним передавать более длительный опорный сигнал, напряжение которого не зависело бы от вносимых частотных искажений. На рис. 11.10 показана осциллограмма испытательного сигнала, часто применяемого в телевизионных измерениях, длительностью 64 мкс, содержащего синус-квадратичный импульс *1* и опорный сигнал (прямоугольный импульс длительностью 26 мкс), гасящий *2* и синхронизирующий *3* импульсы.

Измерение амплитудных характеристик видиоканала

Амплитудную характеристику видеоканала можно измерять при помощи пилообразного напряжения, изображенного на рис. 11.11. Испытательный сигнал повторяется с частотой строчной развертки и содержит гасящие импульсы, необходимые для нормальной работы схем фиксации уровня видеосигнала. Напряжение сигнала, подаваемого на вход контролируемого устройства, должно быть равно номинальному входному напряжению, на которое это устройство рассчитано. Если амплитудная характеристика устройства нелинейна, то произойдет искажение формы испытательного сигнала на выходе (рис. 11.11). Применение импульсов пилообразной формы удобно тем, что позволяет оценить нелинейность на всех участках амплитудной характеристики. Однако численная оцен-

ка нелинейности затруднительна. Испытательный сигнал пилообразной формы можно применять для проведения настроечных работ. В цветном телевидении с помощью такого сигнала целесообразно производить настройку гамма-корректора. Для удобства настройки требуемую форму амплитудной характеристики можно изобразить на тонкой пластине из органического стекла или фотопленке и совместить с изображением на экране осциллографа.

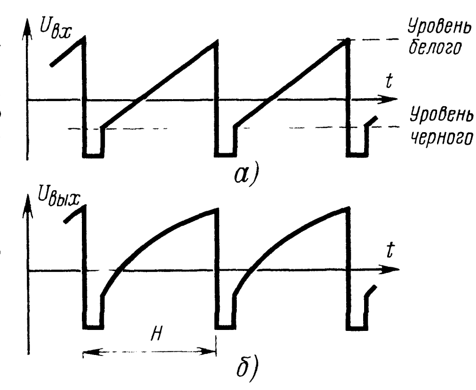


Рис. 11.11. Испытательный сигнал для оценки нелинейных искажений амплитудной характеристики на входе и выходе устройства

Оценка нелинейности упрощается при применении испытательного сигнала ступенчатой формы (рис. 11.12*а*). Этот сигнал содержит пять ступенек одинаковой величины. После прохождения сигнала через испытываемое устройство величины ступенек изменяются (рис. 11.12*б*). Критерием нелинейности является отношение наименьшего размаха ΔU_1 к наибольшему ΔU_2. Обычно на практике количество ступенек не превышает 8—10, так как при большем количестве ступенек труднее проводить измерения. Ступенчатый испытательный сигнал позволяет обнаруживать изменения кривизны амплитудной характеристики лишь на ее отдельных участках, в то время как пилообразный испытательный сигнал дает представление о всей амплитудной характеристике. Погрешность измерения при ступенчатом испытательном сигнале составляет 5—10%.

Более эффективным методом выявления нелинейности амплитудной характеристики устройства является применение рассмотренных испытательных сигналов в сочетании с высокочастотным синусоидальным сигналом. На рис. 11.13*а* и *б* показаны сигналы пилообразной и ступенчатой формы с наложенным на них высокочастотным синусоидальным напряжением. Измерительный сигнал с выхода испытуемого устройства подается на узкополосный фильтр, настроенный на частоту синусоидального сигнала. Если амплитудная характеристика линейна, на выходе устройства получается сигнал, показанный на рис. 11.13*в* и *г*. Нелинейность амплитудной характеристики проявляется в изменениях амплитуды синусоидального сигнала (рис. 11.13*д* и *е*).

Значения нелинейности оценивают по формуле $n = (1 + m/M):100\%$, где m — минимальная, а M — максимальная амплитуды синусоидального напряжения.

Испытательный сигнал, представленный на рис. 11.13*б*, достаточно полно имитирует полный видеосигнал цветного телевидения. Его ступенчатая часть соответствует структуре яркостного сигнала, а синусоидальная насадка — сигналу цветности. Частоту синусоидальной насадки при измерениях искажений сигнала цветности выбирают равной частоте 4,43 МГц (так называемая частота условной поднесущей).

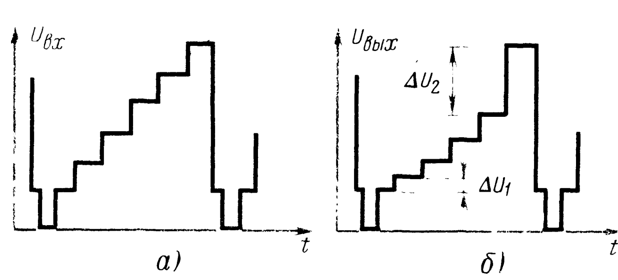


Рис. 11.12. Испытательный сигнал ступенчатой формы на входе и на выходе испытуемого устройства

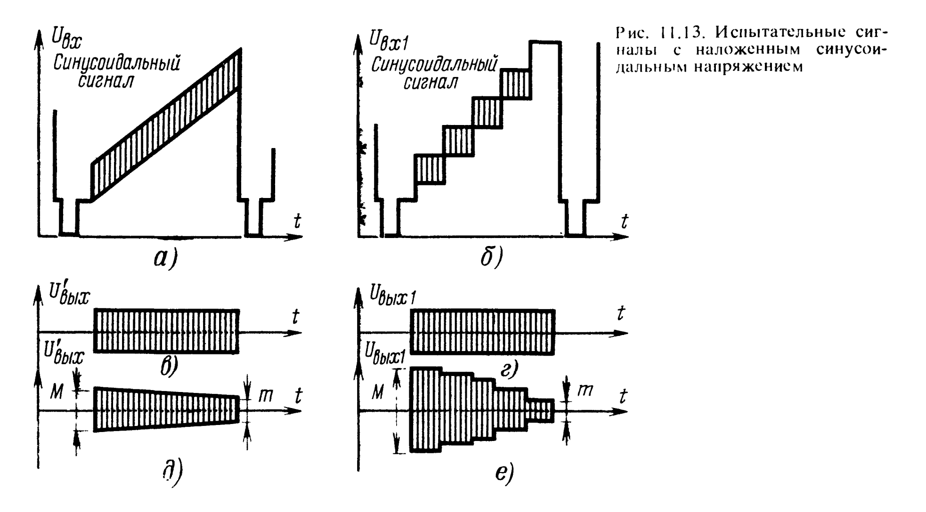


Рис. 11.13. Испытательные сигналы с наложенным синусоидальным напряжением

Для измерения нелинейных искажений сигнала цветности используется также испытательный сигнал, состоящий из сигнала яркости E_Y с постоянным уровнем (рис. 11.14) и ступенчатого сигнала цветности $E_{цв}$.

Нелинейные искажения вызывают нарушение пропорциональности между размахами цветовой поднесущей отдельных ступенек. Количественная оценка искажений в случае, когда, например, отношение номинальных размахов цветовой поднесущей отдельных ступенек $A_{10}:A_{20}:A_{30} = 1:3:5$, производится в процентах по формулам:

$$n'_ц = \left| \frac{3A_1}{A_2} - 1 \right| \cdot 100\%; \quad n''_ц = \left| \frac{3}{5}\,\frac{A_3}{A_2} - 1 \right| \cdot 100\%,$$

где A_1, A_2, A_3 — размахи поднесущей соответственно меньшей, средней и большей ступенек сигнала $E_{цв}$ на выходе проверяемого канала. В качестве меры искажений используют наибольшее из полученных значений $n'_ц$ и $n''_ц$.

Влияние нелинейных искажений сигнала цветности на сигнал яркости можно оценить включением и выключением цветовой поднесущей, наложенной на ступенчатый сигнал (см. рис. 11.13*б*). Измерение этих искажений осуществляют также с помощью испытательного сигнала (рис. 11.14). Для подавления поднесущей этот сигнал пропускается через ФНЧ с граничной частотой 2—3 МГц. На рис. 11.14*б* в качестве примера показаны искажения сигнала яркости, возникшие в проверяемом устройстве за счет нелинейных искажений сигнала цветно-

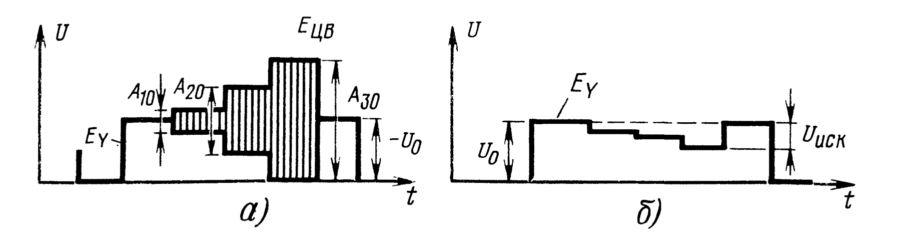


Рис. 11.14. Испытательный сигнал для оценки нелинейных искажений сигнала цветности:
а — амплитудные искажения сигнала цветности; *б* — оценка влияния сигналов цветности на сигнал яркости

сти при разных уровнях поднесущей. Количественная оценка таких искажений производится по формуле $n_я = (U_{иск} / U_0) \cdot 100\%$, где $U_{иск}$ — максимальный размах искажения сигнала яркости; U_0 — размах сигнала яркости.

Применение универсальной испытательной телевизионной таблицы для контроля качества цветного изображения

Для контроля качества работы аппаратуры и приемников цветного телевидения применяется универсальная электронная испытательная таблица (УЭИТ). Испытательный сигнал, создающий изображение УЭИТ, формируется электронным путем, без применения передающих телевизионных камер. Испытательным сигналам, формируемым электронным путем, не присущи специфические искажения, вносимые передающими телевизионными камерами и моноскопными установками. Такие сигналы позволяют не только субъективно оценивать качество изображения на выходе проверяемого тракта, но и при помощи осциллографа измерять ряд характеристик видеоканала. УЭИТ содержат элементы, позволяющие производить настройку отдельных узлов цветного телевизора.

Изображение УЭИТ представлено на рис. 11.15. Для удобства обозначения отдельных элементов на рис. 11.16 представлено схематическое изображение той же таблицы. Таблица разделена на квадраты, обозначенные по горизонтали буквами от *а* до *э*, а по вертикали цифрами от *1* до *20*. Рассмотрим кратко методику использования таблицы.

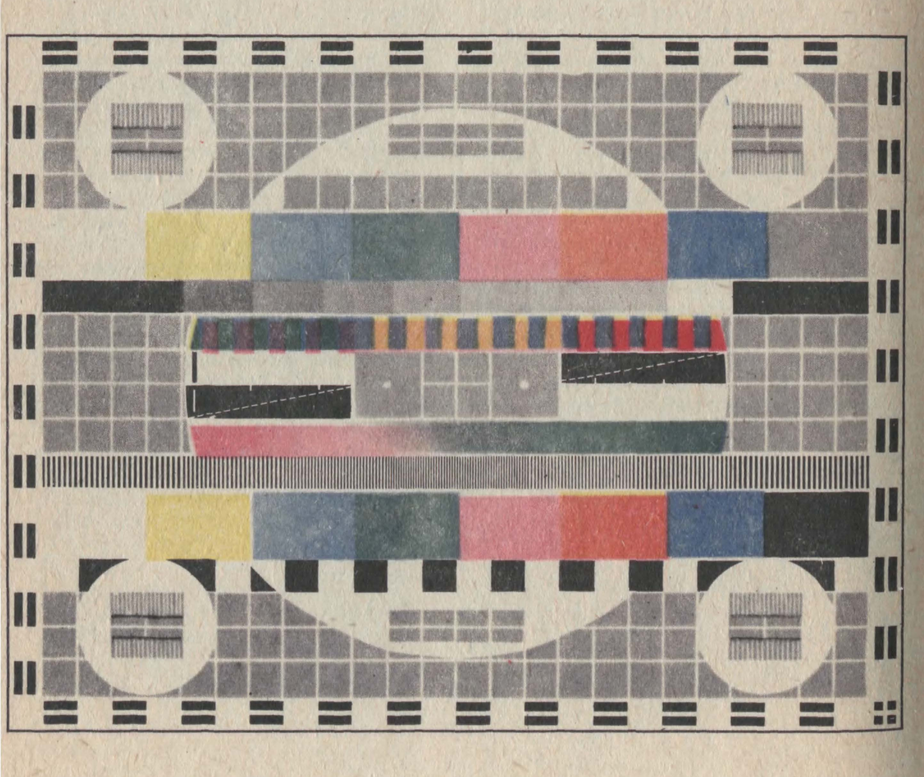


Рис. 11.15. Универсальная электрическая испытательная таблица

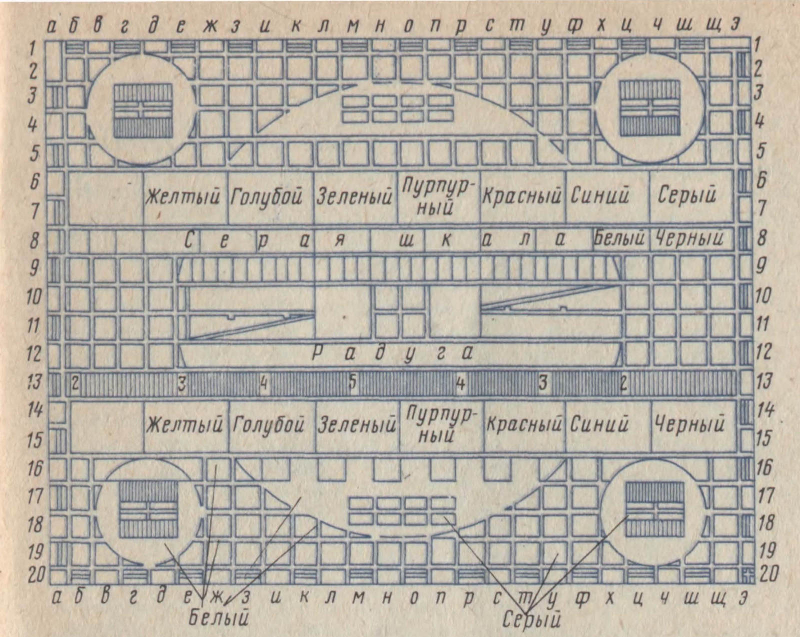


Рис. 11.16. Схематическое изображение УЭИТ

1. *Размер и формат изображения.* Для установки оптимального размера изображения служат реперные линии, которые при регулировке размеров изображения по горизонтали и по вертикали должны быть совмещены с краями обрамления кинескопа. Оценку правильности установки формата кадра можно произвести по квадратам и окружностям, входящим в состав УЭИТ. При неправильной установке формата кадра квадраты превращаются в прямоугольники, а окружности в эллипсы.

2. *Нелинейность разверток.* Оценку нелинейности развертывающих устройств телевизора можно производить с помощью окружностей, которые при наличии искажений превращаются в яйцевидные фигуры. Численная оценка нелинейных искажений может быть произведена измерением размеров прямоугольников, имеющих различные значения в изображении таблицы в зависимости от значения и характера нелинейности.

3. *Статическое сведение лучей.* Правильность статического сведения лучей цветного кинескопа может быть проверена по изображению белого креста, изображенного на сером фоне в центре таблицы. При наличии статического сведения лучей изображение белого креста не содержит цветных окантовок.

4. *Четкость изображения.* Для оценки четкости изображения в полосе 13 (рис. 11.16) имеются элементы изображения, содержащие вертикальные штрихи. Имеется семь участков штрихов, создаваемых пакетами синусоидальных напряжений с частотами 3, 4, 5 и 5,5 МГц. Эти частоты соответствуют примерно 330, 440, 550 и 600 линиям, укладывающимся за время длительности активной части строки, причем по краям располагаются группы низких частот, а в центре группа с наивысшей частотой 5,5 МГц. С помощью штрихов оценивается четкость изображения, создаваемого яркостным сигналом. Для оценки четкости изображения по краям растра в малых кругах расположены вертикальные штрихи, создаваемые сигналами с частотами 3 и 4 МГц.

В полосе *9, е — х* расположены элементы, состоящие из желто-синих, пурпурно-зеленых и красно-голубых штрихов, создаваемые импульсами с частотами 0,5 и 1 МГц. С помощью цветных штрихов может быть оценена цветовая четкость.

Следует отметить, что на экране цветного телевизора штрихи в полосе *13* также имеют окраску. Однако окраска этих штрихов связана с паразитным прохождением компонент сигнала яркости через каналы цветности на экран кинескопа. При выключении каналов цветности окраска исчезает.

5. *Установка уровня черного, контрастности; оценка баланса белого цвета.* На участке *8* расположена серая шкала, содержащая полоски с различной яркостью. Эта деталь УЭИТ служит для установки контрастности и уровня черного при регулировке телевизора. В цветных телевизорах серая шкала позволяет оценить правильность настройки баланса белого цвета, а также правильность настройки дискриминаторов в каналах цветности. При правильной настройке схемы, обеспечивающей баланс белого цвета, все ступени серой шкалы не имеют дополнительной окраски. Правильность настройки дискриминаторов оценивают по белым деталям таблицы. При правильной настройке дискриминатора при передаче белой детали изображения напряжение на его выходе должно быть равно нулю, так как амплитудная характеристика пересекает ось частот при 4,406 МГц в канале *R—Y* и 4,25 МГц в канале *B—Y* (см. рис. 9.14). При передаче белых деталей изображения сигнал цветности имеет указанные значения. Расстройка дискриминаторов вызывает окраску белых деталей изображения. Если на белых деталях появляется розовая окраска, то нарушена настройка дискриминатора в канале *R—Y*, а если голубая, то в канале *B—Y*.

6. *Оценка отраженных сигналов.* Наличие отраженных сигналов оценивается по одиночным штрихам, расположенным в квадратах *10, з, к* и *11, т. ф.* Одиночные штрихи создаются импульсами синус-квадратичной формы длительностью *3T*.

7. *Правильность передачи цвета изображения.* Правильность передачи цвета зависит от точности настройки схем матрицирования сигналов в приемнике и от системы цветовой синхронизации. Для оценки правильности передачи цвета изображения в УЭИТ предусмотрены участки с разной окраской. На горизонтальных полосах *6, 7* и *14, 15* расположены цветные прямоугольники в следующей последовательности: белый, желтый, голубой, пурпурный, красный, синий, черный. На полосках *14, 15* цвета имеют максимальную насыщенность. Насыщенность на полосках *6, 7* несколько ниже. При нарушении настройки схемы матрицирования искажаются цвета полосок, нарушение цветовой синхронизации может привести к полному пропаданию цвета в изображении.

8. *Чересстрочная развертка.* О точности чересстрочной развертки можно судить по виду наклонных линий, расположенных на участках *11, ж—к* и 10. *с—х* УЭИТ. Наличие изломов означает, что строки соседних кадров частично накладываются.

9. *Многоконтурность и тянущиеся продолжения.* Оценка тянущихся продолжений, возникающих при резких перепадах сигнала, а также многоконтурности осуществляется с помощью деталей УЭИТ, изображенных на участках *10, е — х* и *11, е — х.* При отсутствии искажений сигналы, образующие черный и белый прямоугольники, на указанных участках будут иметь вид одиночных импульсов. При наличии повторов, связанных, например, с плохим согласованием антенны, помехи хорошо заметны на белом фоне участка *10, е — х* и черном фоне участка *11, е — х.*

10. *Оценка линейности характеристик частотных модуляторов и дискриминаторов.* Оценка линейности указанных амплитудных характеристик осуществляется с помощью сигнала, образующего на экране изображение «радуги» (полоска *12, е — х*). Изображение радуги создается сигналами $Д'_R$ и $Д'_B$, изменяющимися от +1 до −1. Нелинейность оценивается по осциллограмме сигнала.

Список литературы

1. **Самойлов В. Ф., Хромой Б. П.** Телевидение. — М.: Связь, 1975. — 400 с.
2. **Самойлов В. Ф., Хромой Б. П.** Система цветного телевидения СЕКАМ. — М.: Энергия, 1977. — 48 с.
3. **Ангафоров А. П.** Оконечные устройства приемников цветного телевидения. — М.: Связь, 1971. — 238 с.
4. **Родин А. И., Травин А. А.** Совмещение изображений в цветных трехлучевых кинескопах. — М.: Связь, 1978. — 96 с.
5. **Техника цветного телевидения** /Под ред. С. В. Новаковского — М.: Связь, 1976. — 490 с.
6. **Самойлов Г. П., Скотин В. А.** Телевизоры (альбом схем). — М.: Связь, 1977. — 240 с.
7. **Ельяшкевич С. А.** Отыскание неисправностей и настройка цветных телевизоров. — М.: Энергия, 1976. — 271 с.
8. **Коваль Р. А.** Цветной телевизор в вашем доме. — М.: Энергия, 1978. — 53 с.
9. **Чечик А. М.** Зрителю о цветном телевидении. — М.: Связь, 1970. — 64 с.
10. **Лунева З. П., Новаковский С. В.** Автоматическое управление совмещением в камерах цветного телевидения. — Техника кино и телевидения, 1974, № 4.
11. **Певзнер Б. М.** Системы цветного телевидения. — М.: Энергия, 1969, — 230 с.
12. **Новаковский С. В.** Стандартные системы цветного телевидения. — М.: Связь, 1976. — 364 с.
13. **Кривошеев М. И., Дворкович В. П.** Измерения в цветном телевидении. — М.: Связь, 1971. — 134 с.
14. **Зенин В. Я., Ткаченко А. П.** Двухтрубочная камера цветного телевидения. — Техника кино и телевидения, 1975, № 7.
15. **Афанасьев Ю. И. и др.** Однотрубочные передающие камеры цветного телевидения. — Техника кино и телевидения, 1975, № 11.

ОГЛАВЛЕНИЕ

1 р. 10 к.

ИЗДАТЕЛЬСТВО "РАДИО И СВЯЗЬ"

